

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA**

**Proposta metodológica para o zoneamento de áreas aptas à urbanização**

**Victor Henrique Resende Lima**

**Itajubá (MG)**

**Dezembro de 2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA**

**Victor Henrique Resende Lima**

**Proposta metodológica para o zoneamento de áreas aptas à urbanização**

**Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Hídrica.**

**Área de concentração: Gestão de Sistema Hídricos**

**Orientador: Prof. Dr. Benedito Cláudio da Silva**

**Itajubá (MG)**  
**Dezembro de 2023**

*À minha mãe Elizabete.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os amigos, a minha família, tios, primos, e em especial a meu pai Lucas, minha mãe Elizabete, meus irmãos Luiz Guilherme e Suzana, minha namorada Larissa, minha madrinha Elizete, meu padrinho Marcelo, meus avós maternos Eleutério e Avelina, meus avós paternos Pedro (em memória) e Glória (em memória), todos sempre deram apoio incondicional para continuar essa jornada e buscar o meu melhor.

Sou grato a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos, buscar melhorias na carreira e contribuir para a divulgação de trabalhos acadêmicos.

Agradeço ao meu orientador o professor Benedito e os demais membros da banca da qualificação e dissertação, os professores Junior, Nívea e Ivan, pela paciência, prestatividade e contribuição para a concretização do presente trabalho.

Reconheço o quão importante foi a utilização de dados gratuitos provenientes de plataformas governamentais que possibilitaram o estudo aprofundado dos temas abordados no presente trabalho.

Por fim, tenho uma gratidão enorme pelas fotografias e registros dos eventos de chuvas intensas que foram disponibilizados pela Tuany e Monique, serviram para ilustrar e mostrar a problemática que pretendemos evitar com o estudo.

## RESUMO

O planejamento e controle de uso, do parcelamento e da ocupação urbana, são competências do poder público municipal uma vez que a ausência dessas ações pode resultar em sérios impactos socioambientais no processo de urbanização. Diante dessa problemática envolvendo a urbanização com a questão socioambiental, o presente estudo consistiu em utilizar ferramentas de geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG) para identificar áreas aptas à expansão urbana no município de Lagoa Dourada (MG). Com o emprego do software QGIS, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, e de dados espaciais disponibilizados gratuitamente em plataformas de acesso público, foi realizada a delimitação da área de interesse, a comparação e correção dos dados da rede de drenagem, geração das áreas de preservação dos recursos hídricos e delimitação das rodovias e faixa de servidão e faixa não edificável das rodovias. O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi utilizado neste estudo, onde foi definida a pontuação e os pesos das variáveis para a atribuição de importância por meio de uma escala de comparação entre os critérios. No estudo, foram utilizadas 13 variáveis de relevância ambiental e 5 para o aspecto construtivo da aptidão à urbanização, sendo avaliadas de forma independente para obter os pesos no método AHP. Assim, os valores de razão de consistência foram de 3,5% para os pesos das variáveis de relevância ambiental e de 4,60% os pesos das variáveis de interesse construtivo, o que confere aceitabilidade dos valores dos pesos obtidos (menor que 10%), segundo o método AHP. Após definidas as pontuações conforme as tipologias de cada variável, bem como o respectivo peso da mesma, comparando com as demais variáveis de cada categoria, foi proposta uma equação para delimitar as áreas aptas a urbanização. Deste modo, a área de interesse para urbanização no município de Lagoa Dourada possui 3.288,05 hectares (ha), sendo que 75,19% apresentou alta aptidão urbanização (2.472,19 ha), 15,16% com média aptidão (498,59 ha), 4,46% da área com muito alta aptidão (146,64 ha), 3,41% apresentou baixa aptidão (112,17 ha), e por último, apenas 0,03% apresentou muito baixa aptidão à urbanização (0,91 ha). As únicas áreas que receberam a pontuação de 0, inaptas para a urbanização, foram as regiões situadas nas faixas de servidão e faixa não edificável das rodovias, representando 1,75% da área de interesse para urbanização (57,54 ha). A comprovação da aplicabilidade da metodologia e sua validação ocorreu com o acompanhamento da urbanização no município por meio de imagens históricas do *Google Earth* e loteamentos em construção, cujos locais ocorreram nas regiões mais aptas para esse fim.

**Palavras-chave:** Expansão urbana, Meio ambiente, Ordenamento territorial, SIG.

## ABSTRACT

Planning and control of use, subdivisions and urban occupation are competencies of the municipal public authorities, since the absence of these actions can result in serious socio-environmental impacts in the urbanization process. Faced with this problem involving urbanization with socio-environmental issues, the present study consists of using geoprocessing tools and Geographic Information System (GIS) to identify areas suitable for urban expansion in the municipality of Lagoa Dourada (MG). With the work of QGIS software, an open source Geographic Information System (GIS), and spatial data freely available on public access platforms, the area of interest was delimited, comparison and correction of data from the drainage network, creation of water resource preservation areas and delimitation of highways and service lanes and non-buildable lanes of highways. The Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used in this study, where the score and weights of the variables were defined to assign importance through a comparison scale between the criteria. In the study, 13 variables of environmental relevance and 5 for the constructive aspect of suitability for urbanization were used, being evaluated independently to obtain the weights in the AHP method. Thus, the consistency ratio values were 3.5% for the weights of variables of environmental relevance and 4.60% for the weights of variables of constructive interest, which confers acceptability of the weight values obtained (less than 10%), according to the AHP method. After defining the scores according to the typologies of each variable, as well as their respective weight, compared with the other variables in each category, an equation was proposed to delimit the areas suitable for urbanization. Thus, the area of interest for urbanization in the municipality of Lagoa Dourada has 3,288.05 hectares (ha), of which 75.19% presented high suitability for urbanization (2,472.19 ha), 15.16% with medium suitability (498, 59 ha), 4.46% of the area with very high suitability (146.64 ha), 3.41% had low suitability (112.17 ha), and finally, only 0.03% had very low suitability for urbanization (0.91 ha). The only areas that received a score of 0, unsuitable for urbanization, were the regions located in the right-of-way and non-buildable lanes of highways, representing 1.75% of the area of interest for urbanization (57.54 ha). Proof of the applicability of the methodology and its validation occurred by monitoring urbanization in the municipality through historical images from Google Earth and subdivisions under construction, whose locations occurred in the most suitable regions for this purpose.

**Keywords:** Urban expansion, Environment, Territorial planning, GIS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concentração da população urbana em 1940 (A) e 2010 (B).....	24
Figura 2 - População por situação do domicílio de 1950 a 2010. ....	24
Figura 3 - Lançamento de resíduos sólidos em cursos d'água (A), movimentos de massa de solo (B), lançamento de efluentes sem tratamento (C), supressão de vegetação nativa (D), crescimento urbano desordenado (E) e inundações (F).....	26
Figura 4 - Matriz de comparação par a par.....	40
Figura 5 - Publicações por ano sobre urbanização e meio ambiente.....	44
Figura 6 - Países com mais trabalhos sobre urbanização e meio ambiente.....	45
Figura 7 - Tipo de publicação relacionadas à urbanização e meio ambiente. ....	45
Figura 8 - Autores com mais publicações relacionadas à urbanização e meio ambiente .....	46
Figura 9 - Área temática das publicações relacionadas à urbanização e meio ambiente .....	46
Figura 10 - Publicações por ano sobre urbanização e meio ambiente e AHP. ....	47
Figura 11 - Países com mais trabalhos sobre urbanização e meio ambiente e AHP. ....	47
Figura 12 - Área temática das publicações sobre urbanização e meio ambiente e AHP.....	48
Figura 13 - Autores com mais publicações sobre urbanização e meio ambiente e AHP. ....	48
Figura 14 - Área temática das publicações sobre urbanização e meio ambiente e AHP.....	49
Figura 15 - Fluxograma com o roteiro de atividade do estudo.....	50
Figura 16 - O perímetro municipal de Lagoa Dourada (MG). ....	51
Figura 17 - Declividade no perímetro municipal de Lagoa Dourada (MG). ....	54
Figura 18 - Delimitação da área de interesse.....	55
Figura 19 - Rede de drenagem das bacias hidrográficas do Rio São Francisco e do Rio Grande. ....	56
Figura 20 - Nascentes presentes na rede de drenagem dos Rios São Francisco e Rio Grande.....	57
Figura 21 - Exemplo 1 de divergência na rede de drenagem. ....	58
Figura 22 - Exemplo 2 de divergência na rede de drenagem. ....	59
Figura 23 - Exemplo 3 de divergência na rede de drenagem. ....	60
Figura 24 - Delimitação dos recursos hídricos na área de interesse.....	61
Figura 25 - Delimitação das APP de nascente e cursos d'água (separado).....	62
Figura 26 - Delimitação das APP de nascente e cursos d'água (mesclado).....	63
Figura 27 - Delimitação das áreas que estão dentro e fora da APP na área de interesse.....	64
Figura 28 - Delimitação das rodovias MGC-383 e MG-275.....	65
Figura 29 - Delimitação faixas de servidão e não edificável das rodovias.....	66

Figura 30 - Pontuação e aptidão da declividade à urbanização. ....	68
Figura 31 - Aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). ....	87
Figura 32 - Muito alta aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). ....	89
Figura 33 - Alta aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). ....	90
Figura 34 - Média aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). ....	91
Figura 35 - Baixa aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). ....	92
Figura 36 - Muito baixa aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). ....	93
Figura 37 - Inaptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). ....	94
Figura 38 - Aptidão à urbanização de variáveis de relevância ambiental na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). ....	95
Figura 39 - Aptidão à urbanização das variáveis construtivas na área de interesse para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	96
Figura 40 - Risco de alagamento em função da declividade (%) para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	98
Figura 41 - Principal ponto de alagamento na cidade de Lagoa Dourada (MG). ....	99
Figura 42 - Alagamento, chuva de granizo e medidas de contenção nos estabelecimentos do município de Lagoa Dourada (MG). ....	100
Figura 43 - Ponto 2, área de risco muito alto para alagamento do município de Lagoa Dourada (MG). ....	101
Figura 44 - Ponto 3, área de risco muito alto para alagamento do município de Lagoa Dourada (MG). ....	102
Figura 45 - Demais áreas de risco muito alto para alagamentos no município de Lagoa Dourada (MG). ....	103
Figura 46 - Áreas de risco alto para alagamentos para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	104
Figura 47 - Áreas de risco alto para alagamentos e pontos de referência dentro do município de Lagoa Dourada (MG). ....	105

Figura 48 - Pontos de alto risco de alagamento e monitoramento dentro do município de Lagoa Dourada (MG). .....	107
Figura 49 - Pontos 13,14, 15, 16, 17, 28, 29 e 30, representando áreas de alto risco de alagamento.....	108
Figura 50 - Pontos 18, 19, 20, 21, 22 e 23, representando áreas de alto risco de alagamento. ....	108
Figura 51 - Ponto 24, área de alto risco de alagamento.....	109
Figura 52 - Pontos 25 e 26, áreas de alto risco de alagamento.....	109
Figura 53 - Pontos 27, 28, 29 e 30, representando áreas de alto risco de alagamento. ....	110
Figura 54 - Ponto 31, área de alto risco de alagamento.....	110
Figura 55 - Alagamento ocorrido na Rua Vereador Murilo Oliveira Campos (Ponto 15) em novembro de 2022 no município de Lagoa Dourada (MG). ....	111
Figura 56 - Áreas de risco de movimento de massa de solo para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	112
Figura 57 - Principais pontos de expansão urbana após 2010. ....	113
Figura 58 - Regiões A, B, C, D, E e F de expansão urbana após 2010 para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	114
Figura 59 - Regiões A, B, C, D, E e F ao longo dos anos para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	114
Figura 60 - Regiões G, H, I de expansão urbana após 2010 para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	115
Figura 61 - Regiões G, H e I de expansão urbana ao longo dos anos para o município de Lagoa Dourada (MG) .....	116
Figura 62 - Regiões J e K de expansão urbana após 2010 para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	116
Figura 63 - Regiões J e K de expansão urbana ao longo dos anos para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	117
Figura 64 - Regiões L, M e N de expansão urbana após 2010 para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	117
Figura 65 - Regiões L, M e N de expansão urbana ao longo dos anos para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	118
Figura 66 - Loteamentos em construção no município de Lagoa Dourada (MG).....	119
Figura 67 - Loteamento em construção e aptidão à urbanização para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	119

Figura 68 - Aptidão à urbanização das variáveis ADMCE, APPCB, CE, SR, TI e TQER para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	135
Figura 69 - Aptidão à urbanização da variável Áreas Protegidas (AP) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	136
Figura 70 - Aptidão à urbanização da variável Cobertura da Mata Atlântica (CMA), para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	136
Figura 71 - Aptidão à urbanização da variável Reserva da Biosfera (RB) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	137
Figura 72 - Aptidão à urbanização da variável Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	137
Figura 73 - Aptidão à urbanização da variável Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	138
Figura 74 - Aptidão à urbanização da variável Áreas prioritárias para conservação (APPC) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	138
Figura 75 - Aptidão à urbanização da variável Área de Preservação Permanente (APP) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	139
Figura 76 - Aptidão à urbanização da variável Áreas Prioritárias para Recuperação (APPR) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	140
Figura 77 - Aptidão à urbanização da variável Exposição do solo (ES) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	140
Figura 78 - Aptidão à urbanização da variável Mapa de solos (MS) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	141
Figura 79 - Aptidão à urbanização da variável Qualidade ambiental (QA) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	141
Figura 80 - Aptidão à urbanização da variável Vulnerabilidade do solo (VS) para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	142
Figura 81 - Aptidão à urbanização da variável declividade para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da população brasileira.....	23
Tabela 2 - Pesos utilizados na lógica Fuzzy para expansão da UNICAMP. ....	37
Tabela 3 - Descrição das classes de perigo para cotas altimétricas para o perímetro urbano do município de Erechim (RS). ....	38
Tabela 4 - Descrição das classes de perigo para o perímetro urbano do município de Erechim (RS).....	39
Tabela 5 - Matriz de decisão para obtenção dos pesos das variáveis. ....	41
Tabela 6 - Informações usadas na pesquisa bibliométrica na base de dados da Scopus. ....	43
Tabela 7 - Aptidão para urbanização em função da declividade. ....	67
Tabela 8 - Classificação, critério e pontuação adotados para aptidão da urbanização. ....	69
Tabela 9 - A escala fundamental de Saaty.....	72
Tabela 10 - Matriz de comparação pareada entre as variáveis de interesse ambiental.....	73
Tabela 11 - Matriz de comparação pareada entre as variáveis construtivas.....	74
Tabela 12 - Normalização da matriz de comparação pareada entre as variáveis de interesse ambiental para o município de Lagoa Dourada (MG).....	75
Tabela 13 - Normalização da matriz de comparação pareada entre as variáveis construtivas para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	76
Tabela 14 - Valores das componentes do vetor prioridade média local (PML) para variáveis construtivas para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	76
Tabela 15 - Valores das componentes do vetor prioridade média local (PML) para variáveis de relevância ambiental para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	77
Tabela 16 - Cálculo das componentes do vetor v1 para as variáveis construtivas para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	78
Tabela 17 - Cálculo das componentes do vetor v1 para as variáveis de relevância ambiental para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	79
Tabela 18 - Valores das componentes do vetor v2 para as variáveis de relevância ambiental para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	80
Tabela 19 - Valores das componentes do vetor v2 para as variáveis construtivas para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	81
Tabela 20 - Valores de IR para matrizes de ordem n. ....	82
Tabela 21 - Classificação da aptidão para urbanização para o município de Lagoa Dourada (MG). ....	86

Tabela 22 - Cálculo de áreas e a aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG). .....	88
Tabela 23 - Classes de declividade em função do risco de alagamento para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	98
Tabela 24 - Coordenadas UTM das regiões de muito alto risco de alagamento para o município de Lagoa Dourada (MG).....	100
Tabela 25 - Coordenadas UTM das regiões de alto risco de alagamento para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	106
Tabela 26 - Coordenadas dos principais pontos de expansão urbana para o município de Lagoa Dourada (MG). .....	113
Tabela 27 - Coordenadas dos loteamentos em construção no município de Lagoa Dourada (MG). .....	118

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\lambda_{\max}$	Máximo autovalor
°C	Grau Celsius
$a^{*ij}$	Normalização do primeiro elemento da matriz
%	Porcentagem
A	Matriz
ADMCE	Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIPC	Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades
$a_{ij}$	Valor presente na linha i e coluna j
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AND	Operador booleano “e”
AP	Áreas Protegidas
APP	Área de preservação permanente
APPC	Áreas prioritárias para conservação
APPCB	Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade
APPR	Áreas prioritárias para recuperação
APTD	Aptidão para urbanização e expansão urbana
ASA	Área de Segurança Aeroportuária
BA	Bahia
BHCO	Bacia Hidrográfica do Córrego da Onça
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CE	Ceará
CE	Corredores ecológicos legalmente instituídos
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CMA	Cobertura da Mata Atlântica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CXbd	Cambissolo Háplico Tb Distrófico
Cwa	Clima temperado húmido com inverno seco e verão quente
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPSCG	European Petroleum Survey Group
ES	Exposição do solo
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FNE	Faixa não edificável
FS	Faixas de servidão
FUNAI	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
GO	Goiás
ha	Hectares
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Consistência
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDE SISEMA	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IEF	Instituto Estadual de Florestas
II	Inventário de Inundação
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Índice Randômico
Iu	Índice de umidade de Thornthwaite
LVAd	Latosolo Vermelho-Amarelo Distrófico
m	Metro (s)
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
mm	Milímetro
MG	Minas Gerais
MG-275	Rodovia
MGC-383	Rodovia
MS <sup>1</sup>	Mapa de solo
MS <sup>2</sup>	Mato Grosso do Sul
n	Número de critérios/fatores estudados
NA	Nível d'água
NDBI	Normalized Difference Built up Index

NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NJ	Número de julgamentos
OLI	Operational Land Imager
ONU	Organização das Nações Unidas
OSGeo	Open Source Geospatial Foundation
P1	Peso da variável APPR
P2	Peso da variável DECL
P3	Peso da variável ES
P4	Peso da variável MS
P5	Peso da variável QA
P6	Peso da variável VS
P7	Peso da variável APP
P8	Peso da variável ADMCE
P9	Peso da variável APPC
P10	Peso da variável APPCB
P11	Peso da variável AP
P12	Peso da variável CMA
P13	Peso da variável CE
P14	Peso da variável AIPC
P15	Peso da variável TQER
P16	Peso da variável RB
P17	Peso da variável SR
P18	Peso da variável TI
P19	Peso da variável VNRH
PB <sup>1</sup>	Paraíba
PB <sup>2</sup>	Posição na BH
PI <sup>1</sup>	Potencialidade da Inundação
PI <sup>2</sup>	Piauí
PML	Vetor prioridade média local
PMLi	Componente do vetor prioridade local para a linha i
QA	Qualidade ambiental
RB	Reserva da Biosfera
RC	Razão de Consistência
RS	Rio Grande do Sul

SBN	Soluções Baseadas na Natureza
SC	Santa Catarina
SEDRU	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEMPLAN	Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIDRA	Sistema de Recuperação Automática do IBGE
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SP	São Paulo
SR	Sítios Ramsar
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TI	Terras indígenas
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
TQER	Territórios quilombolas e raios de restrição a terras quilombolas
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USAF	United States Air Force
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator
v <sub>1i</sub>	Vetor equivalente a multiplicar a matriz A pelo autovetor
v <sub>2i</sub>	Vetor equivalente da divisão de v <sub>1i</sub> pelo PML <sub>i</sub> correspondente
VNRH	Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos
VS	Vulnerabilidade do solo
W	Critério da matriz

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>22</b>
3.1 Urbanização e sociedade.....	22
3.1.1 Desafios e problemas socioambientais.....	25
3.2 Legislação sobre urbanização, uso do solo e recursos hídricos .....	26
3.3 Licenciamento ambiental para urbanização .....	32
3.4 Tecnologias para estudos ambientais e ordenamento territorial .....	35
3.5 Estudos com metodologias multicritérios .....	36
3.6 Método <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) .....	39
3.7 Método AHP em estudos ambientais e de urbanização.....	41
<b>4 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA</b> .....	<b>42</b>
4.1 Introdução .....	42
4.2 Metodologia .....	43
4.3 Resultados.....	44
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>50</b>
5.1 Fluxograma das atividades.....	50
5.2 Escolha do município para estudo.....	50
5.3 Uso Sistema de Informação Geográfica (SIG) .....	51
5.4 Obtenção de dados .....	52
5.4.1 Dados vetoriais do IDE SISEMA .....	52
5.4.2 Dados vetoriais do SICAR.....	53
5.4.3 Dados matriciais INPE.....	54
5.5 Reprojeção de camadas e correção de geometrias .....	54
5.6 Delimitação de área de interesse para o estudo.....	55
5.7 Comparação e correção dos dados da rede de drenagem .....	56
5.8 Geração das APP dos recursos hídricos corrigidos .....	61
5.9 Delimitação das rodovias e faixas de servidão e não edificável .....	64
5.10 Definição da pontuação e pesos das variáveis .....	66
5.10.1 Pontuação dos atributos da declividade (raster) .....	66
5.10.2 Pontuação dos atributos nos dados vetoriais .....	68
5.10.3 Método AHP para definição de pesos das variáveis.....	70

5.11 Equação proposta para cálculo da aptidão à urbanização .....	83
5.12 Geoprocessamento de camadas no QGIS .....	85
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>87</b>
6.1 Aptidão à urbanização.....	87
6.2 Inaptidão à urbanização nas margens das rodovias .....	93
6.3 Aptidão de variáveis ambientais .....	94
6.4 Aptidão de variáveis construtivas.....	96
6.5 Urbanização em áreas de risco .....	97
6.5.1 Risco de alagamento muito alto .....	97
6.5.2 Risco de alagamento alto .....	103
6.5.3 Risco de movimentos de massa de solo.....	111
6.6 A expansão urbana no município .....	112
6.6.1 Expansão urbana após 2010 .....	112
6.6.2 Loteamentos em construção .....	118
6.7 Comparação com outras metodologias .....	120
6.7.1 SIG, método AHP e urbanização .....	120
6.7.2 Áreas de risco.....	124
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO A – APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS ANALISADAS ISOLADAMENTE.....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO B – APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS CONSTRUTIVAS ANALISADAS ISOLADAMENTE.....</b>	<b>140</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A maior complexidade e a dinâmica dos diferentes agentes nos ambientes urbanos resultam em cidades que estão passando por inúmeras transformações nas últimas décadas e, somando-se às demandas ambientais urgentes, carecem de um replanejamento urbano que contemple a sustentabilidade e o bem-estar da população (DIAS; OLIVEIRA, 2021).

A acelerada e desordenada urbanização das cidades brasileiras demonstra uma relação desequilibrada entre o ser humano e o meio ambiente. O planejamento ambiental inadequado faz com que as áreas de proteção ambiental previstas por lei sejam ignoradas, culminando em um uso e ocupação do solo impactantes ao meio ambiente, observados principalmente, nos bairros dos grandes centros urbanos brasileiros (ARAÚJO; SANTOS JUNIOR; OLIVEIRA, 2020).

O planejamento e controle de uso, do parcelamento e da ocupação urbana são competências do poder público municipal, assim como a política de desenvolvimento urbano, que tem por objetivos adequar o ordenamento territorial, a promoção das funções sociais das cidades e o bem-estar da população, previstos pela Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988).

O parcelamento do solo para urbanização em zonas urbanas ou de expansão urbana são estabelecidas pela legislação municipal, também existem áreas onde o Instituto Nacional de Colonização Agrária (INCRA) solicita a anuência prévia (FARIA FILHO; GONÇALVES, 2015). Nesse aspecto, o Plano Diretor é um dos instrumentos da política de desenvolvimento urbano que auxilia no planejamento e gestão do território e necessita de estudos para diagnóstico dos aspectos físicos, bióticos e antrópicos locais e regionais (ZIMMERMANN; HIGASHI, 2021).

A expansão urbana culmina na remoção da vegetação nativa e modificação no uso e ocupação do solo em função das infraestruturas necessárias à vida, a execução de atividades e ao bem-estar da população, sendo elas: abertura e pavimentação de vias, construção de edificações, rede de distribuição de energia elétrica, comunicações, água potável, drenagem de água pluvial, captação de efluentes domésticos (STEHLI; WEBER; VESTENA, 2021).

A falta de planejamento no processo de urbanização gera impactos socioambientais de alocação desordenada (favelização), poluição do ar e dos cursos d'água, saneamento básico insuficiente, infraestruturas públicas precárias, assoreamento de cursos d'água, construções

irregulares em áreas de risco ou de preservação ambiental, erosão e exposição do solo, acúmulo de resíduos sólidos em lixões e lançamento de substâncias químicas na rede de drenagem pluvial (OLIVEIRA; BAMPI; SILVA, 2021).

O uso de geotecnologias permite a geração de dados e informações com significativos benefícios no que diz respeito a soluções e intervenções efetivas, trazendo contribuição sobre quais localidades tem aptidão ou não para ocupação de moradias e comércios, áreas a serem preservadas, vulnerabilidade e grau de risco, citando como exemplo o alagamento (NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2022).

Diante dessa problemática envolvendo a urbanização com a questão socioambiental, a elaboração de metodologias que levem em consideração produtos de sensoriamento remoto, tomando informações de mapas de inundação, densidade populacional, tipologia de solo e declividade, permitem a identificação de áreas preferenciais para intervenção e possibilitem a adoção de procedimentos de desenvolvimento urbano de baixo impacto (SASAKI et al., 2021).

Desse modo, o estudo consiste em utilizar ferramentas de geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas (SIG) para identificar áreas aptas a expansão urbana em Lagoa Dourada (MG). No município está cada vez mais frequente o surgimento de loteamentos e também a ocorrência de pontos de alagamentos e movimentos de massa de solo, o que demanda uma análise para constatar se a expansão urbana está ocorrendo nos locais com maior aptidão para tal finalidade.

## **2 OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma proposta metodológica para o zoneamento de áreas aptas à urbanização, verificar sua aplicabilidade, contribuir para o ordenamento territorial e minimização de impactos ambientais.

Os objetivos específicos são:

- Estudar o município de Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brasil;
- Verificar as principais variáveis ambientais e construtivas na área de estudo;
- Avaliar se a urbanização do município ocorreu em áreas de maior aptidão e
- Analisar as variáveis mínimas para que a pesquisa gere resultados condizentes com a situação real.

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Urbanização e sociedade**

A atuação e interação de diversos agentes, cujas características diferenciam em função de aspectos regionais e desenvolvimento, fazem das cidades ambientes dinâmicos (DIAS; OLIVEIRA, 2021). Desse modo, o processo de urbanização é resultado de idealizações sociopolíticas, cuja influência é regida pelas instituições do mercado e a sociedade que as operam (ZAZYKI; et al., 2021).

O Brasil do século XIX foi marcado pela desordem e caos populacional, havendo necessidade de um plano de reformas urbanas como uma estratégia para solução dessa problemática, adotando medidas e ações de controle social. Com o desenvolvimento industrial a partir de 1850, o processo de urbanização foi iniciado nas capitais. O setor cafeeiro e a disponibilidade de capital internacional financiaram a instalação de fábricas, bancos e companhias de navegação, demonstrando que as elites tiveram papel fundamental para a urbanização e criação de políticas sociais, já que a prioridade era demonstrar à comunidade internacional que o país tinha grande potencial para investimento produtivo (MORORÓ, 2021).

Estudos analisados por Côrtes e Silva Junior (2021) demonstraram que a disseminação urbana se consolidou principalmente em áreas já desmatadas, tendo grande destaque para as áreas de cultivo. Assim, a mudança na cobertura vegetal não foi uma causa instantânea. Desse modo, a urbanização pode ser considerada como uma classe de uso do solo, cuja orientação se concretiza de forma espacial, onde se observou redução de intensidade e impactos da urbanização à medida que se distanciou dos centros urbanos, cujos efeitos não se restringem ao núcleo urbano (CÔRTEZ; SILVA JUNIOR, 2021).

A falta de políticas públicas habitacionais no Brasil culminou no processo de favelização e invasões, onde a maioria de seus habitantes não possuíam recursos financeiros e circunstâncias sociais para formalização de moradias. O resultado foi a construção de habitações em áreas inapropriadas e a falta de acesso aos serviços públicos básicos (ZAZYKI et al., 2021).

Segundo dados do Relatório Mundial das Cidades emitido no ano de 2022, vinculado à Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), a estimativa da população urbana global deve crescer em mais 2,2 bilhões de pessoas até o ano 2050, o que significa que 68% da população mundial habitando na zona urbana.

No Brasil, observa-se a evolução da população urbana com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), que demonstra o total de 5.568 municípios além de Fernando de Noronha e do Distrito Federal, com área territorial de 8.510.417 km<sup>2</sup>, com base na malha digital de 2022, população estimada em 203.080.756 de pessoas e densidade demográfica de 23,86 habitantes por km<sup>2</sup> em 2022. Minas Gerais possui uma área territorial de 586.513 km<sup>2</sup>, com base na malha digital de 2022, população estimada em 20.539.989 de pessoas e densidade demográfica superior à média nacional, sendo 35,02 habitantes por km<sup>2</sup> em 2022.

A partir da Tabela 1 e das Figuras 1 e 2 se pode observar o crescimento da população urbana nos anos de 1940, com 12.878.647 habitantes (31,28% da população total), enquanto em 2022 era de 160.925.804 habitantes (84,36% da população total).

Tabela 1 - Evolução da população brasileira.

<b>Ano</b>	<b>População urbana</b>	<b>População rural</b>	<b>População total</b>
1940	12.878.647 (31,28 %)	28.290.674 (68,72 %)	41.169.321
1950	18.782.891 (36,16 %)	33.161.506 (63,84 %)	51.944.397
1960	32.004.817 (45,08 %)	38.987.526 (54,92 %)	70.992.343
1970	52.904.744 (55,98 %)	41.603.839 (44,02 %)	94.508.583
1980	82.013.375 (67,70 %)	39.137.198 (32,30 %)	121.150.573
1991	110.875.826 (75,47 %)	36.041.633 (24,53 %)	146.917.459
2000	137.755.550 (81,23 %)	31.835.143 (18,77 %)	169.590.693
2010	160.925.792 (84,36 %)	29.830.007 (15,64 %)	190.755.799
2022	Não divulgado	Não Divulgado	203.080.756

Fonte: IBGE (2023).

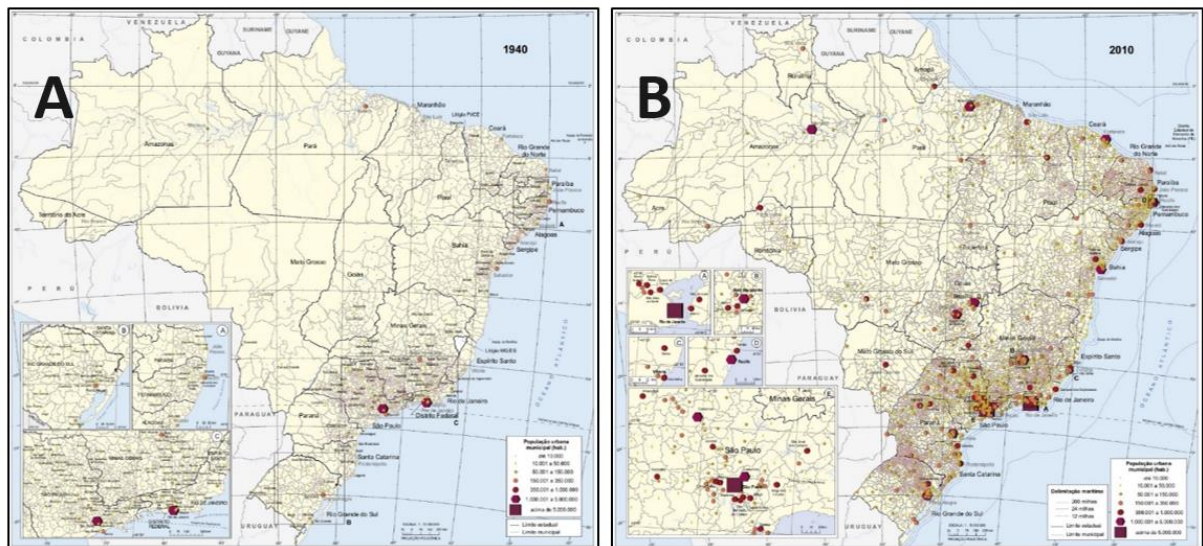


Figura 1 - Concentração da população urbana em 1940 (A) e 2010 (B).  
Fonte: IBGE (2023).

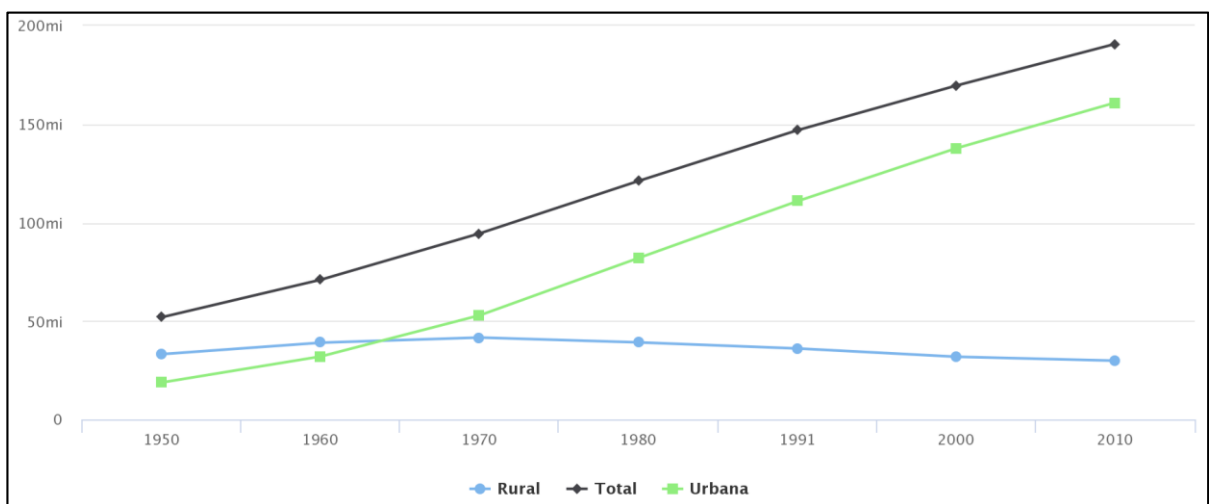


Figura 2 - População por situação do domicílio de 1950 a 2010.  
Fonte: IBGE (2023).

De acordo com as informações apresentadas, nota-se que a população urbana tem aumentado consideravelmente e isso traz significativos impactos na vida da população e para o meio onde estão inseridas.

Na divisão do território são classificadas as seguintes categorias (IBGE, 2023):

- Subdistritos: 643 unidades geográficas que dividem integralmente o território do distrito ou do município, sendo cadastrados no banco de dados do IBGE desde que possuam representação cartográfica;
- Distritos: 10.670 unidades administrativas internas ao município, e

- Municípios: 5.568 unidades da federação com menor abrangência territorial. Somam-se a esses municípios um Distrito Federal (Brasília) e um distrito estadual em Pernambuco (Fernando de Noronha), totalizando 5.570.

### **3.1.1 Desafios e problemas socioambientais**

A urbanização ocorrendo de forma acelerada e descontrolada trouxe vários problemas socioeconômicos para as cidades brasileiras, culminando no processo de êxodo rural para aqueles que buscavam trabalho e melhores condições de vida (ZAZYKI et al., 2021). Como resultado, observou-se a formação de favelas, cortiços e loteamentos irregulares ou clandestinos, fruto das condições que eram um empecilho para a construção de moradias adequadas à legislação das cidades, tais como: mercado de terra, políticas elitistas, maioria da população com baixa renda e leis vigentes (ZAZYKI et al., 2021).

Costa, Lobato e Cañate (2020) demonstraram que a sociedade, em geral, principalmente a população de baixa renda, enfrentava diariamente adversidades no convívio com complicações características de países desenvolvidos: problemas psicossociais (consumo de drogas, criminalidade, doenças mentais), elevados índices de doenças crônicas-degenerativas e poluição ambiental decorrente de industrialização, transporte, setor energético e inovação tecnológica. Em contrapartida, o acometimento de doenças infectocontagiosas e outras resultantes do fornecimento insuficiente de serviços se tornam os principais desafios vivenciados pelos países pobres.

As construções urbanas desordenadas nas margens de rios podem gerar um ambiente demasiadamente degradado pela execução de atividades antrópicas e urbanização, tendo como principais impactos o lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento, depósito de resíduos sólidos, supressão de vegetação nativa, empobrecimento e impermeabilização do solo, erosão, assoreamento e deterioração da qualidade dos cursos d'água, enchentes, canalização e alteração no leito original do curso d'água, pesca predatória e retirada de areia (GOUVEA; SANTOS, 2021).

A preocupação com as questões ambientais não tem sido adequadamente levada em consideração no processo de urbanização, conforme reportado por Bezerra e Souza (2021), constatando que a degradação dos recursos naturais, principalmente com o lançamento de efluentes e descarte de resíduos sólidos em cursos d'água da cidade, foram as principais consequências para a criação de bairros em processo acelerado e desordenado de expansão urbana.

De acordo com Pinho e Carriço (2021), as regiões costeiras também foram severamente impactadas pelo processo de ocupação territorial e urbanização, as cidades litorâneas tem se preocupado com as mudanças climáticas e as consequências para essas áreas. O desenvolvimento econômico, saúde, segurança e transporte foram as principais preocupações da Administração Pública, deixando as questões ambientais somente para os momentos críticos. Logo, a Zona Costeira Brasileira já estava descaracterizada e ocupada em grande parte no momento da consolidação da legislação ambiental (PINHO; CARRIÇO, 2021).

A Figura 3 ilustra alguns exemplos de impactos ambientais e sociais causados pelos processos de urbanização desordenada.



Figura 3 - Lançamento de resíduos sólidos em cursos d'água (A), movimentos de massa de solo (B), lançamento de efluentes sem tratamento (C), supressão de vegetação nativa (D), crescimento urbano desordenado (E) e inundações (F).

Fonte: Brasil Escola (FRANCISCO, 2023; GUITARRA, 2023; SILVA, 2023; SOUSA, 2023).

### 3.2 Legislação sobre urbanização, uso do solo e recursos hídricos

A relação entre meio ambiente e urbanização é regulada por legislações específicas que se inter-relacionam, devendo ser observadas no planejamento de áreas de expansão urbana, construção de loteamentos, núcleos habitacionais e preservação ambiental.

Assim, existem leis e decretos que definem as competências das entidades públicas, parcelamento de solo, infraestruturas, requisitos mínimos, uso e ocupação, áreas de uso restrito, reserva legal e uso restrito, evidenciando os aspectos a serem analisados na temática relacionadas ao meio ambiente e urbanização.

A Lei nº 6.766 de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências (BRASIL, 1979), traz em seu texto:

- Que o parcelamento do solo para fins urbanos seja regido por esta Lei;
- Os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão estabelecer normas complementares relativas ao parcelamento do solo municipal para adequar o previsto nesta Lei às peculiaridades regionais e locais;
- O parcelamento do solo urbano poderá ser feito mediante loteamento ou desmembramento, observadas as disposições desta lei e as das legislações estaduais e municipais pertinentes;
- Ao longo das águas correntes e dormentes, as áreas de faixas não edificáveis deverão respeitar a lei municipal ou distrital que aprovar o instrumento de planejamento territorial e que definir e regulamentar a largura das faixas marginais de cursos d'água naturais em área urbana consolidada, nos termos da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, com obrigatoriedade de reserva de uma faixa não edificável para cada trecho de margem, indicada em diagnóstico socioambiental elaborado pelo Município (Incluído pela Lei nº 14.285, de 2021), e;
- Todas as alterações de uso do solo rural para fins urbanos dependerão de prévia audiência do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, do Órgão Metropolitano, se houver, onde se localiza o Município, e da aprovação da Prefeitura municipal, ou do Distrito Federal quando for o caso, segundo as exigências da legislação pertinente.

A Lei nº 9.785 de 1999 (BRASIL, 1999), que altera a Lei nº 6.766 de 1979 (BRASIL, 1979) define que:

- Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal;
- Não será permitido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas; com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes; onde as condições geológicas não aconselham a edificação e em áreas de preservação

ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

Para disciplinar o exame e anuência prévia pelo estado de Minas Gerais, por meio da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana - SEDRU, para aprovação de projetos de loteamentos e desmembramentos de áreas para fins urbanos pelos municípios, o Decreto Estadual nº 44.646 de 2007 (MINAS GERAIS, 2007) apresenta o seguinte:

- O parcelamento de áreas com declividade superior a 30% (trinta por cento) e inferior a 47% (quarenta e sete por cento) somente será admitido mediante condições especiais de controle ambiental e comprovação da estabilidade do solo por meio de laudo geotécnico emitido por Responsável Técnico, devidamente acompanhado da referente Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).
- A modificação do uso de propriedade rural para fins urbanos, em áreas situadas dentro do perímetro urbano, em Zona Urbana, de Expansão Urbana ou Urbana Especial, fica condicionada à prévia autorização da prefeitura municipal, do órgão metropolitano, se houver, e do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA.
- Caracterizam-se áreas não-edificáveis a faixa obrigatória de 15 m ao longo das faixas de domínio público das rodovias e ferrovias, salvo disposições da legislação específica.

No Decreto Estadual nº 44.768 de 2008 (MINAS GERAIS; 2008), que altera o Decreto nº 44.646 de 2007 (MINAS GERAIS, 2007), tem-se:

- Não será permitido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas e mediante autorização e outorga das autoridades competentes; em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados; com declividade igual ou superior a quarenta e sete por cento, observado o disposto no art. 3º do Decreto Estadual nº 44.646/2007; onde as condições geológicas não aconselham a edificação; em áreas de preservação permanente, salvo nos termos da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006, da Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, e mediante autorização do órgão

ambiental competente; em áreas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção; em sub-bacias hidrográficas enquadradas na classe especial e na classe I, e em áreas de mananciais, de acordo com o disposto no art. 1º e no inciso VI do art. 4º da Lei nº 10.793, de 2 de julho de 1992; e em áreas total ou parcialmente ocupadas por vegetação nativa sem prévia autorização do órgão competente;

- A autorização para desmatamento do Bioma Mata Atlântica deverá ser precedida de anuência do órgão estadual competente, observado o disposto na Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 e;
- No caso de áreas de preservação permanente - APP, deverão ser respeitados os impedimentos legais de uso e ocupação, sendo permitido o cômputo das mesmas no cálculo de até oitenta por cento do total das áreas verdes do loteamento.

No que diz respeito a legislação ambiental, a Lei nº 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012) que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa no âmbito federal e a Lei Estadual nº 20.922 de 2013 (MINAS GERAIS, 2013), que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado de Minas Gerais, observa-se em comum aspecto os seguintes itens:

- Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;
- Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa;
- Área rural consolidada: área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio;
- Uso alternativo do solo: substituição de vegetação nativa e formações sucessoras por outras coberturas do solo, como atividades agropecuárias, industriais, de

geração e transmissão de energia, de mineração e de transporte, assentamentos urbanos ou outras formas de ocupação humana;

- Utilidade pública: inclui as obras de infraestrutura destinadas às concessões e aos serviços públicos de transporte, sistema viário, inclusive aquele necessário aos parcelamentos de solo urbano aprovados pelos Municípios, saneamento, energia, telecomunicações, radiodifusão, bem como mineração, exceto, neste último caso, a extração de areia, argila, saibro e cascalho;
- Interesse social: a implantação de infraestrutura pública destinada a esportes, lazer e atividades educacionais e culturais ao ar livre em áreas urbanas e rurais consolidadas, observadas as condições estabelecidas nesta Lei, e implantação de instalações necessárias à captação e condução de água e de efluentes tratados para projetos cujos recursos hídricos são partes integrantes e essenciais da atividade;
- Leito regular: a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano;
- Área verde urbana: espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais;
- Várzea de inundação ou planície de inundação: áreas marginais a cursos d'água sujeitas a enchentes e inundações periódicas;
- Área urbana consolidada: aquela que atende os seguintes critérios (Redação dada pela Lei nº 14.285, de 2021): estar incluída no perímetro urbano ou em zona urbana pelo plano diretor ou por lei municipal específica; (Incluída pela Lei nº 14.285, de 2021), dispor de sistema viário implantado; (Incluída pela Lei nº 14.285, de 2021), estar organizada em quadras e lotes predominantemente edificadas; (Incluída pela Lei nº 14.285, de 2021), apresentar uso predominantemente urbano, caracterizado pela existência de edificações residenciais, comerciais, industriais, institucionais, mistas ou direcionadas à prestação de serviços; (Incluída pela Lei nº 14.285, de 2021) e dispor de, no

mínimo, 2 (dois) dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana implantados;

- Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei, as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012): 30 metros, para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura, 50 metros, para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura, 100 metros, para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura, 200 metros, para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura e 500 metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros; as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de 100 metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 metros e 30 metros, em zonas urbanas; as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012); as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 metros (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012) (Vide ADIN Nº 4.903); as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive; no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação; nas áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;
- A intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental previstas nesta Lei e;
- Em áreas de inclinação entre 25° e 45°, serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a

manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agrônômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social.

Para o município de Lagoa Dourada (MG), a Lei Complementar nº 108, de 28 de dezembro de 2006 (LAGOA DOURADA. 2006), dispõe sobre parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Dentre os principais aspectos trazido por essa lei, tem-se:

- Apresentação de levantamento planimétrico com planta contendo os cursos d'água, áreas alagadiças, mananciais, linha de transmissão de energia, linhas teleféricas, adutoras e demais indicações que caracterizam o imóvel, com os respectivos aproveitamentos, segundo normas específicas que deverão ser rigorosamente seguidas pelo responsável técnico em relação à legislação federal e estadual pertinente. Também deverão ser demarcadas das áreas com declividade de 30% a 47% e superior, se houver.
- Indicações das áreas de equipamentos, áreas verdes, institucionais, de preservação permanente, "non aedificandi", dos lotes e outras áreas;
- Projeto urbanístico com a subdivisão das quadras em lotes com as respectivas dimensões cotadas e numeração dos lotes, indicação das vias públicas, espaços livres e acessórios com todas as dimensões cotadas. O zoneamento (quando definido nas diretrizes municipais) uso e utilização das áreas remanescentes (quando houver) e
- Das áreas não parceláveis por determinação da Lei Federal 6.766/1979 (citados anteriormente).

### **3.3 Licenciamento ambiental para urbanização**

O parcelamento de solo é uma atividade potencialmente poluidora e degradadora do meio ambiente cuja intensidade e grau varia em função do porte do empreendimento e da localização do empreendimento.

Em Minas Gerais, o licenciamento ambiental é regido pela Deliberação Normativa nº 217 de 2017 (MINAS GERAIS, 2017), que estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais.

A definição de área total para atividades de parcelamento do solo e loteamento, segundo a referida deliberação normativa (MINAS GERAIS, 2017) são, respectivamente:

- É a área total da gleba de origem do loteamento, incluindo as áreas ocupadas por lotes e as demais áreas destinadas ao sistema de circulação, à implantação de equipamento urbano e comunitário, à composição paisagística, a espaços livres de uso público, as áreas remanescentes, etc. Deve ser expressa em hectare (ha).
- A subdivisão de gleba em lotes destinados a edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes.

O parcelamento de solo está na Listagem E, de atividades de infraestrutura, sob item E-04, e pode ser ramificado em duas categorias (MINAS GERAIS, 2017):

- E-04-01-4 Loteamento do solo urbano, exceto distritos industriais e similares, potencial poluidor/degradador geral é médio, porte pequeno para áreas de 15 a 50 hectares (ha), médio entre 50 e 100 ha e grande quando acima de 100 ha.
- E-04-02-2 Distrito industrial e zona estritamente industrial, comercial ou logística, potencial poluidor/ degradador geral é médio, porte pequeno para áreas menores que 25 hectares (ha), médio entre 25 e 100 ha e grande quando acima de 100 ha.

Para definir a modalidade de licenciamento ambiental são necessárias as informações do porte, potencial poluidor/degradador, dos critérios locacionais de enquadramento e fatores de restrição ou vedação. Os critérios locacionais de enquadramento referem-se à relevância e à sensibilidade dos componentes ambientais que os caracterizam, são eles (MINAS GERAIS, 2017):

- Localização prevista em Unidade de Conservação de Proteção Integral, nas hipóteses previstas em Lei;
- Supressão de vegetação nativa em áreas prioritárias para conservação, considerada de importância biológica “extrema” ou “especial”, exceto árvores isoladas;
- Supressão de vegetação nativa, exceto árvores isoladas;

- Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno quando não houver zona de amortecimento estabelecida por Plano de Manejo; excluídas as áreas urbanas;
- Localização prevista em Unidade de Conservação de Uso Sustentável, exceto APA;
- Localização prevista em Reserva da Biosfera, excluídas as áreas urbanas;
- Localização prevista em Corredor Ecológico formalmente instituído, conforme previsão legal;
- Localização prevista em áreas designadas como Sítios Ramsar;
- Localização prevista em área de drenagem a montante de trecho de curso d'água enquadrado em classe especial;
- Captação de água superficial em Área de Conflito por uso de recursos hídricos e;
- Localização prevista em área de alto ou muito alto grau de potencialidade de ocorrência de cavidades, conforme dados oficiais do CECAV-ICMBio.

Os fatores de restrição ou vedação não conferem peso para fins de enquadramento dos empreendimentos, devendo ser considerados na abordagem dos estudos ambientais a serem apresentados, sem prejuízo de outros fatores estabelecidos em normas específicas, conforme descrito abaixo (MINAS GERAIS, 2017):

- Área de Preservação Permanente – APP;
- Área de restrição e controle de uso de águas subterrâneas;
- Área de Segurança Aeroportuária – ASA;
- Bioma Mata Atlântica;
- Corpos d'água de Classe Especial;
- Rio de Preservação Permanente;
- Terras Indígenas;
- Terra Quilombola e
- Unidade de Conservação de Proteção Integral.

A verificação dos critérios locacionais e fatores de restrição ou vedação poderá ser realizada mediante consulta ao sistema informatizado da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sisema – IDE-Sisema (SISEMA, 2023), que disponibiliza dados georreferenciados relativos

aos critérios e fatores mencionados, auxiliando no planejamento do empreendimento ou atividade.

Assim, a construção de loteamentos e áreas de expansão urbana depende de uma avaliação acerca dos melhores aspectos construtivos para tal finalidade, mas também requer uma avaliação e planejamento para não incidir sobre locais de alta relevância ambiental.

### **3.4 Tecnologias para estudos ambientais e ordenamento territorial**

A difusão de tecnologias cartográficas, juntamente com a organização, armazenamento e veiculação da informação espacial proporcionaram o aumento de sites ou plataformas *WebSig* ou *WebGis* que permitem o compartilhamento de dados e estatísticas espaciais em diversos segmentos institucionais (GOMES; ANDRADE, 2021).

O desenvolvimento de tecnologias inovadoras atua para suprir as demandas ambientais urgentes e o replanejamento urbano contribui para que empresas privadas e gestores públicos produzam um planejamento estratégico de condutas para uma moderna infraestrutura para as cidades (DIAS; OLIVEIRA, 2021).

A análise multicritério pode auxiliar na avaliação de parâmetros relacionados ao meio urbano degradado, levando em consideração múltiplos atributos em diferentes escalas, uma vez que a avaliação de implicações sociais, físicas e financeiras devem ser objetos de estudo por parte de gestores públicos, principalmente no que diz respeito a saneamento integrado e urbanização de favelas (ARAÚJO, 2021).

Diante de um cenário de crescimento urbano acelerado, mudanças climáticas, redução na biodiversidade, exploração intensa de recursos naturais e mudanças de paradigmas para o desenvolvimento sustentável, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações investiga as adversidades e propõe melhorias para a qualidade de vida e bem-estar da população. Assim, foi concebido o projeto CITInova - Planejamento Integrado e Tecnologias para Cidades Sustentáveis, que dá amparo às cidades para resolver questões, em muitas frentes com a aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) (RAPOSO et al., 2020).

A elaboração de metodologias que levem em consideração produtos de sensoriamento remoto, tomando informações de mapas de inundação, densidade populacional, tipologia de solo e declividade, permitem a identificação de áreas preferenciais para intervenção e possibilitem a adoção de procedimentos de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (SASAKI et al., 2021).

A utilização de drones proporciona a produção de um material cartográfico para o planejamento de intervenções urbanas devido à grande qualidade de material fotográfico, baixo custo em relação à voos tripulados, produção de levantamento em 3D, agilidade e rapidez na execução do mapeamento, cruciais para monitoramento de áreas de risco e acompanhamento da dinâmica de transformações em favelas (DIMITROV; ALVIM, 2022).

### **3.5 Estudos com metodologias multicritérios**

O emprego de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem sido amplamente utilizado em pesquisas relacionadas às cidades, urbanização, áreas de risco, recursos hídricos, uso e ocupação do solo. O uso de SIG, metodologias e procedimentos de geoprocessamento permitem a obtenção de informações e concepção de um banco de dados para reconstruir a hidrografia de uma região (SILVA; LIMA, 2021).

Os conflitos históricos entre recursos naturais e o processo de urbanização foram confirmados na Bacia Hidrográfica do Córrego da Onça (BHCO), município de Três Lagoas (MS), por meio de análise socioambiental integrada do uso e cobertura do solo apoiada por técnicas de geoprocessamento com os softwares SPRING e Global Mapper, juntamente com a análise da qualidade da água, demonstrando a realidade do problema que representa a premissa para a tomada de decisões relacionadas ao planejamento ambiental (PINHO; GARCIA; GARCIA, 2020).

Pereira et al. (2021) utilizaram a lógica Fuzzy em ambiente SIG com o software ArcMap para elaborar uma carta geotécnica de aptidão à urbanização que serviu como documento orientativo de fácil acesso e entendimento para uso e ocupação urbana na área de expansão da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). A Tabela 2 apresenta os pesos utilizados pelos autores do estudo.

Tabela 2 - Pesos utilizados na lógica Fuzzy para expansão da UNICAMP.

<b>Atributo</b>	<b>Classe</b>	<b>Peso</b>
Declividade	0 - 3	100
	3 - 6	100
	6 - 12	80
	12 - 20	50
Litologia	Complexo Itapira	60
	Serra Geral	90
	Itararé	40
	Suíte Granítica	90
Preservação	Mapas delimitados	0
	Demais áreas	90
Pedologia	Argissolo	60
	Gleissolo	10
	Latossolo	90
	Nitossolo	70
Drenagem	Até 30 m da margem	0
	>30	90
Nascente	Até 50 m da margem	0
	>50 m	90

Fonte: Pereira et al. (2021).

A mensuração da alteração no uso do solo, fruto da atividade antrópica que culminou no crescimento urbano no município de Ilhota (SC), entre 1999 e 2019, foi possível devido ao uso de imagens disponibilizadas pela plataforma *Earth Explorer* e processamento das imagens pelo software QGIS (KROTH; VIEIRA; YKEIZUMI, 2020).

Ribeiro e Dias (2020) analisaram vetores de crescimento, geomorfologia do terreno e mapeamento geológico-geotécnico para gerar uma carta geotécnica de aptidão à urbanização no município de Cataguases (MG). Tal estudo serve de apoio para os gestores públicos no ordenamento territorial

O crescimento urbano em Cajazeiras (PB), avaliado por Sousa et al. (2020), demonstrou que o sensoriamento remoto é uma tecnologia eficaz e facilitadora em estudos envolvendo a distinção da superfície terrestre, apresentando as áreas mais relevante no que diz respeito à expansão urbana.

A micro bacia do igarapé Urumarí, situada no perímetro urbano Santarém (BA), teve a ocupação das margens dos cursos d'água de forma desordenada, impactando diretamente na

qualidade de vida da população residente no entorno, bem como na qualidade ambiental (remoção da mata ciliar e, conseqüentemente, a erosão, assoreamento do curso d'água, aumento na temperatura média, alagamentos, acúmulo de resíduos sólidos e redução na biodiversidade de fauna e flora) (SOUSA et al., 2021).

O aumento da urbanização, juntamente com as intervenções frustradas para controle de erosão, teve grande influência nas rotas de fluxo de escoamento superficial na alta bacia do córrego Tucum, em São Pedro (SP), e tal fato foi causado devido à construção de moradias em locais de grande suscetibilidade a erosão (MATHIAS; LUPINACCI; NUNES, 2020).

As interferências antrópicas ao longo de 40 anos na bacia hidrográfica Rio Henrique, dentro do perímetro urbano do município de Erechim (RS), resultaram em processos de inundação devido a retificação e canalização da calha fluvial para consolidação de loteamentos em áreas menos valorizadas e a impermeabilização de áreas a montante (FURLAN; TRENTIN, 2021). Os autores classificaram as classes de perigo de inundação com diferentes notas e pesos para as variáveis: inventário de inundação, potencialidade de inundação, cotas altimétricas e posição topográfica na bacia hidrográfica, conforme descritos nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Descrição das classes de perigo para cotas altimétricas para o perímetro urbano do município de Erechim (RS).

<b>Parâmetro</b>	<b>Nota</b>	<b>Cota (m)</b>
Alto	1	765 – 761
Médio	2	758 – 755
Baixo	3	732 – 726

Fonte: Furlan e Trentin (2021).

Tabela 4 - Descrição das classes de perigo para o perímetro urbano do município de Erechim (RS).

Perigo de inundação dos domicílios								
Inventário de Inundação (II)			Potencialidade da Inundação (PI)			Posição na BH (PB)		
Parâmetro	Nota	Peso 30 %	Parâmetro	Nota	Peso 30 %	Parâmetro	Nota	Peso 30 %
0	1		Baixa	1		Alto	1	
1	2		Média	2		Médio	2	
1 <	3		Alta	3		Baixo	3	

Fonte: Furlan e Trentin (2021).

A utilização do QGIS no geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza (CE), realizado por Barboza, Bezerra Neto e Caiana (2020), demonstrou uma relação da temperatura da superfície com a urbanização e a condição da vegetação gerada pelo NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

### 3.6 Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) surgiu na década de 1970 e permite a hierarquização relacionando os objetivos e os critérios par a par, definindo os graus de importância para cada item. Assim, elaboram-se uma matriz de comparação que auxilia na escolha e atribuição de pesos para as variáveis e critérios analisados, de acordo com a experiência e conhecimento dos especialistas e tomadores de decisão (SAATY, 1977; SAATY, 1987; SAATY, 1990).

Segundo Saaty (1987) e Saaty (1990), o método AHP possibilita a derivação de escalas de proporção para comparações pareadas discretas e contínuas, podendo ser realizadas a partir de medições reais ou de uma escala que reflita as preferências acerca dos itens avaliados. O método se preocupa com a consistência dos resultados, sua medição e dependência dos elementos de sua estrutura, o que concede uma grande aplicação do método em tomada de decisão multicritério, no planejamento, alocação de recursos e resolução de conflitos.

De maneira geral, o método AHP representa uma estrutura não linear que se utiliza do pensamento dedutivo e indutivo sem o uso de silogismo, fazendo comparações numéricas para chegar em uma síntese ou conclusão e até definir medidas no domínio físico e social. Isso



### 3.7 Método AHP em estudos ambientais e de urbanização

Utilizando a análise multicritério de diferentes variáveis (solo, tipo de uso, altitude, declividade) e a álgebra de mapas possibilitaram a caracterização, agrupamento e classificação de áreas com suscetibilidade a inundação, destacando o emprego de SIG com o software ArcGis para gerar o mapeamento de áreas vulneráveis (LEAL; BARBOSA; AQUINO, 2020). A utilização de técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP) permitiu a obtenção dos pesos para as quatro variáveis citadas anteriormente, conforme matriz de decisão da Tabela 5.

Tabela 5 - Matriz de decisão para obtenção dos pesos das variáveis.

Variáveis	Solo	Uso do solo	Altitude	Declividade
Solo	1	1/3	1/5	1/7
Uso do solo	3	1	1/3	1/5
Altitude	5	3	1	1/3
Declividade	7	5	3	1

Fonte: Leal, Barbosa e Aquino (2020).

Faria e Augusto Filho (2013) estudaram a aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas utilizando como indicadores de perigo a amplitude, declividade, uso/cobertura, nível d'água (NA), água superficial, material e estrutura geológica. Enquanto que Bispo et al. (2020) verificaram a suscetibilidade induzida a escorregamentos, com definição de pesos das variáveis uso, geológico, solos, declividade, forma do terreno geomorfológico com a aplicação do método AHP.

Estudos realizados por França et al. (2019) utilizaram da avaliação multicritério AHP para definir os pesos das variáveis uso e ocupação do terreno, classes de solo, declividade do terreno, domínios geológicos, hierarquia fluvial e pluviosidade para realizar o zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados.

Os aspectos geoambientais como subsídio ao planejamento urbano da cidade de Marabá (PA) apresentada por Costa, Farias e Loureiro (2020) foi possível devido ao emprego do geoprocessamento e ferramentas de suporte à decisão, como por exemplo o método AHP.

O planejamento territorial a partir da modelagem dos conflitos de uso e ocupação do solo, realizada por Nunes e Roig (2016), teve a determinação dos pesos alocados para cada plano de informação com a utilização do método AHP.

Os valores de importância e atribuição de notas para o uso e ocupação do solo, tipo de solo, declividade e altitude, variáveis estudadas no mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá (SP), foi possível com o emprego do método de análise hierárquica AHP (MANTIS; VAZ, 2019)

Por fim, Castro et al. (2015), demonstraram como o uso de SIG e análise multicritério (AHP) podem ser utilizados na seleção de áreas com potencial para a construção de universidades e loteamentos universitários.

## **4 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA**

### **4.1 Introdução**

Segundo Macias-Chapula (1998), a bibliometria é definida como o estudo dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso da informação registrada e permite a identificação de produção científica de países, de instituições e até mesmo de pesquisadores/cientistas.

Além de identificar a produção científica de determinadas área de conhecimento, a pesquisa bibliométrica evidencia as preferências teóricas e metodológicas, podendo ser verificada uma classificação desigual de reconhecimento atuando na disciplina (LENINE; MÖRSCHBÄCHER, 2020). Desse modo, é possível observar com a pesquisa bibliométrica quais temas são mais estudados e possuem maior reconhecimento, mas também notar algumas janelas e áreas que podem ser melhor aprofundadas.

As regalias da era digital possibilitaram que a bibliometria usufrua da produção científica disponibilizada nas bases de dados e depende do trabalho dos indexadores, fazendo com que a linguística seja uma apoiadora indireta para verificação quantitativa (MUGNAINI, 2003).

De acordo com Guedes (2012) existem três principais leis da pesquisa bibliométrica, a Lei de Bradford que demonstra a produtividade de periódicos e sua relevância, a Lei de Lotka que evidencia o prestígio e produtividade científica de autores, enquanto que as Leis de Zipf que verificam a frequência de palavras e área de concentração dos termos.

Dada a importância da pesquisa bibliométrica para a verificação da atualidade e produção científica de determinada área do conhecimento, foi realizada uma análise de bibliometria sobre os temas estudados no presente trabalho.

Para realizar a bibliometria foi necessário a definição de uma base de dados para pesquisa, escolha de palavras-chave associadas ao tema de interesse, uso de operadores booleanos e de proximidade na busca e análise dos resultados.

A pesquisa bibliométrica foi realizada no banco de dados de citações e resumos da Scopus, que permite encontrar pesquisas relevantes e confiáveis, identificando especialistas, métricas e ferramentas analíticas confiáveis. A Scopus oferece mais métricas de pesquisa e quase o dobro do número de publicações revisadas por pares do que qualquer outro banco de dados de resumos e citações (SCOPUS, 2023).

## 4.2 Metodologia

A pesquisa bibliográfica foi efetuada no dia 25 de julho de 2023 e as palavras-chave relacionadas ao tema do presente estudo usadas na busca foram: urbanização (*urbanization*), meio ambiente (*environment*) e a sigla AHP (referente ao método *Analytic Hierarchy Proces*). Foram selecionados no campo de busca o título do artigo, resumo, palavras-chave (*article title, abstract, keywords*) e utilizado o operador booleano “e” (AND), para que ambos os termos apareçam no resultado, sendo realizadas duas pesquisas com combinações diferentes das palavras, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Informações usadas na pesquisa bibliométrica na base de dados da Scopus.

Itens analisados na busca	Palavras pesquisadas	Resultados
<i>Article title, Abstract, Keywords</i> (título do artigo, resumo, palavras-chave)	<i>urbanization AND environment</i> (urbanização e meio ambiente)	23.610
<i>Article title, Abstract, Keywords</i> (título do artigo, resumo, palavras-chave)	<i>urbanization AND environment AND AHP</i> (urbanização e meio ambiente e AHP)	152

Fonte: O autor (2023).

A pesquisa bibliométrica foi realizada em duas combinações de palavras, a primeira para verificar a relevância da temática envolvendo urbanização e meio ambiente ao longo dos anos e a segunda para verificar as publicações relacionadas ao método AHP (um dos principais tópicos para desenvolvimento da metodologia proposta nesse trabalho) nos estudos com as duas temáticas já citadas.

### 4.3 Resultados

Como resultados da pesquisa de urbanização e meio ambiente (*urbanization AND environment*), obteve-se 23.610 resultados, a maior quantidade de publicações foi de 2.924 trabalhos em 2022, demonstrando um crescente interesse e atualidade da temática, os países que se destacaram com trabalhos foram a China, Estados Unidos e Índia (os três mais populosos do mundo segundo a ONU) e o Brasil na 6ª colocação, da apuração 71,2% foram artigos, o autor com mais publicações possui 49 trabalhos e as áreas temáticas mais englobadas foram as ciências ambientais, ciências sociais, ciências agrárias e biológicas e engenharia. As Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 trazem os resultados mencionados, respectivamente.

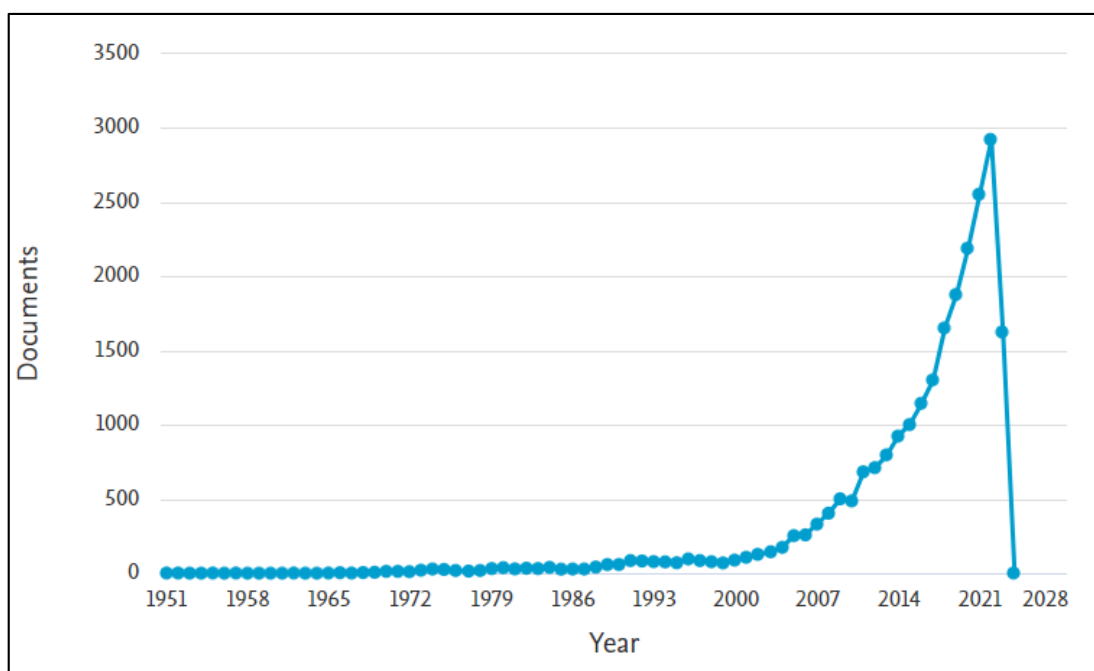


Figura 5 - Publicações por ano sobre urbanização e meio ambiente.  
Fonte: Scopus (2023).

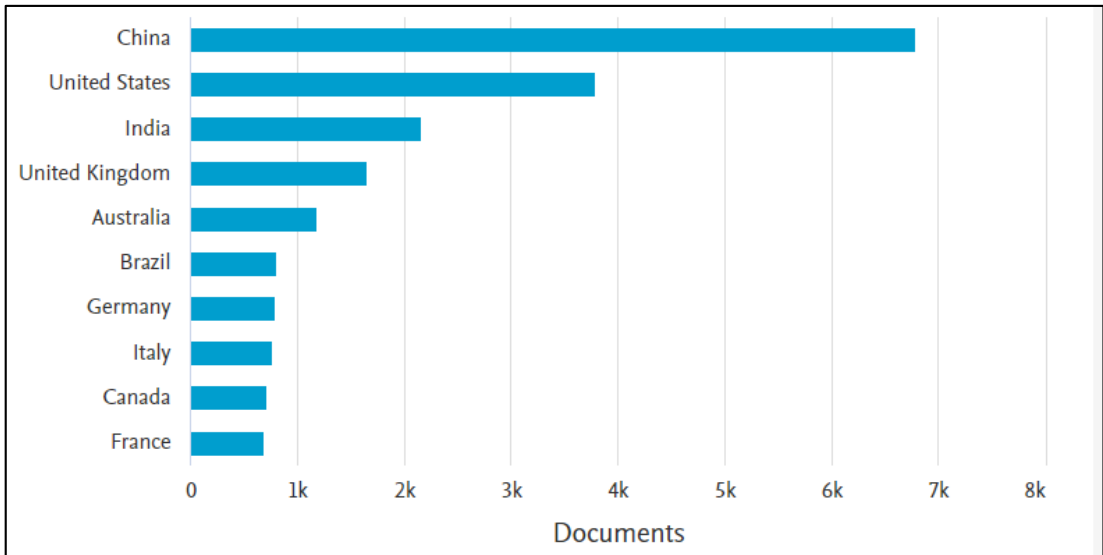


Figura 6 - Países com mais trabalhos sobre urbanização e meio ambiente.  
 Fonte: Scopus (2023).

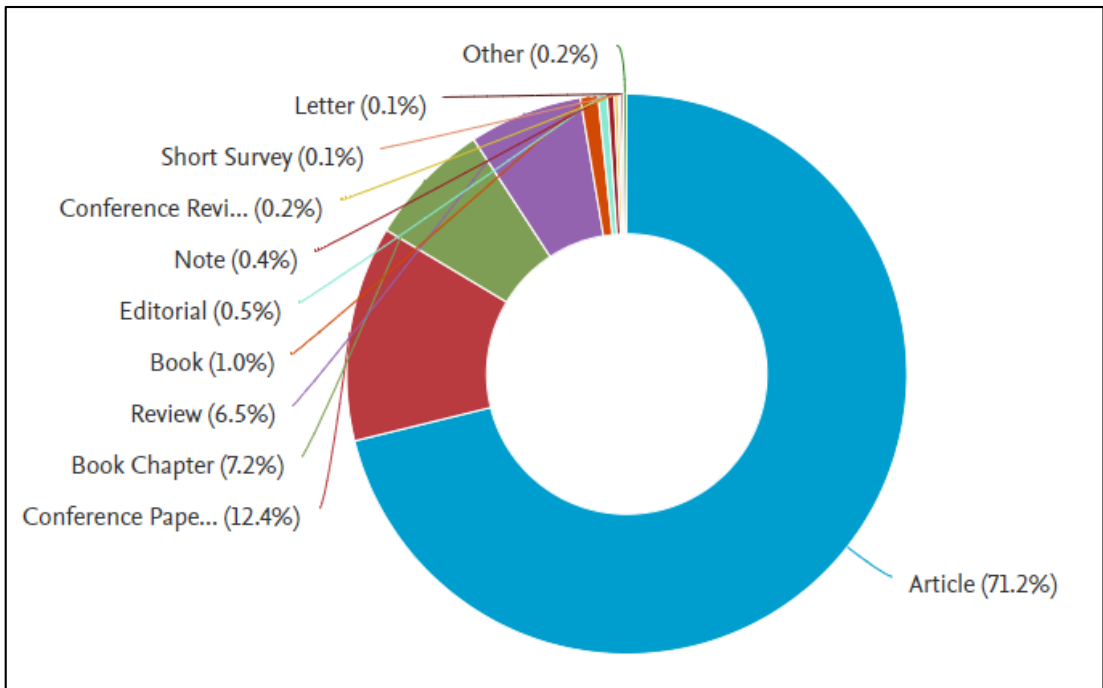


Figura 7 - Tipo de publicação relacionadas à urbanização e meio ambiente.  
 Fonte: Scopus (2023).

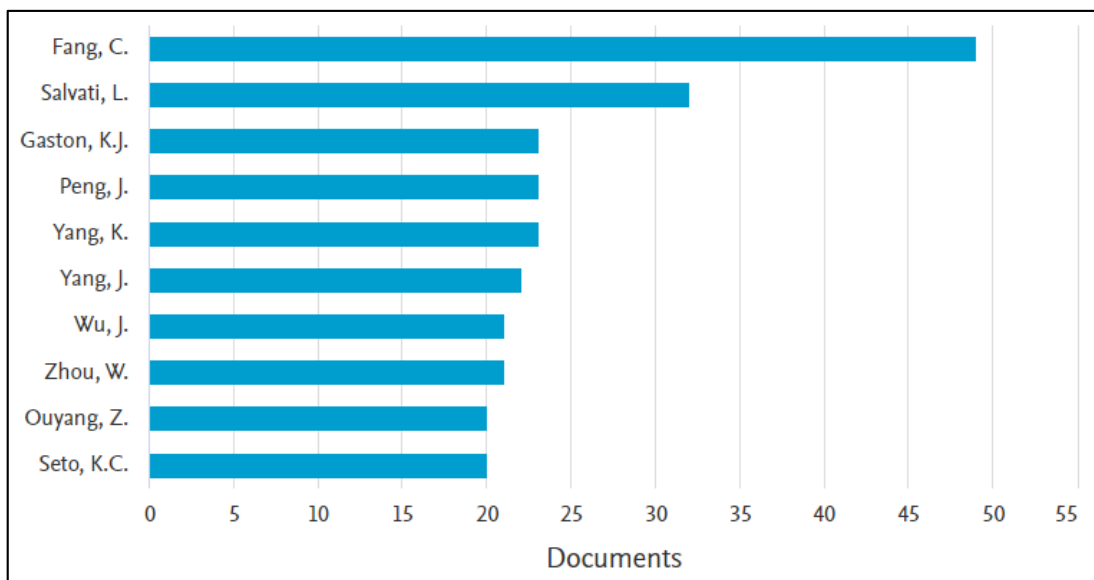


Figura 8 - Autores com mais publicações relacionadas à urbanização e meio ambiente  
 Fonte: Scopus (2023).

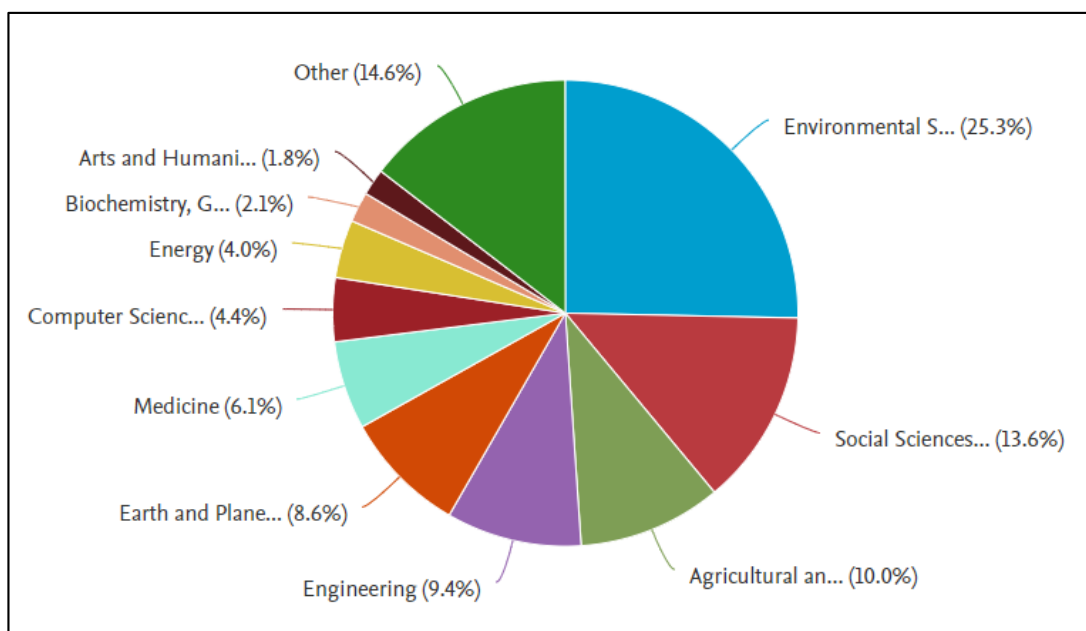


Figura 9 - Área temática das publicações relacionadas à urbanização e meio ambiente  
 Fonte: Scopus (2023).

No que diz respeito à pesquisa sobre publicações sobre urbanização e meio ambiente e AHP (*urbanization AND environment AND AHP*), obteve-se 152 trabalhos resultados, a maior quantidade de publicações foi de 26 trabalhos em 2021, os países que se destacaram com trabalhos foram a China, Índia e Peru, da apuração 73,7% foram artigos, os autores com mais publicações possuíam 3 trabalhos cada e as área temáticas mais englobadas foram as ciências

ambientais, engenharia, ciências sociais, ciências da terra e planetárias. As Figuras 10, 11, 12, 13 e 14 apresentam os resultados mencionados, respectivamente.

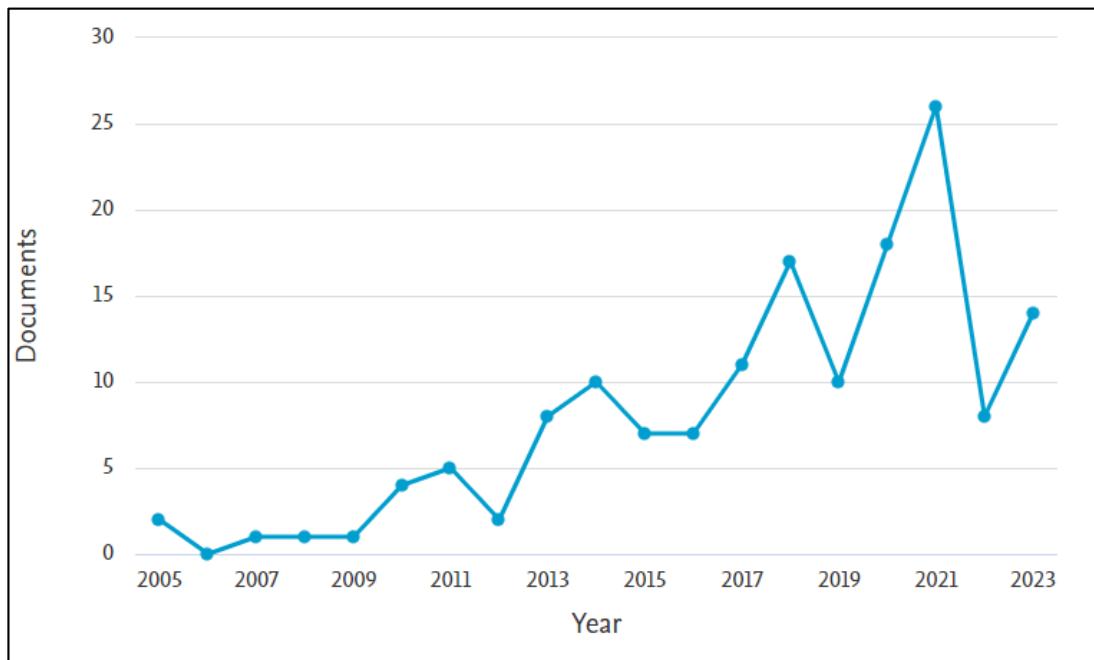


Figura 10 - Publicações por ano sobre urbanização e meio ambiente e AHP.  
Fonte: Scopus (2023).

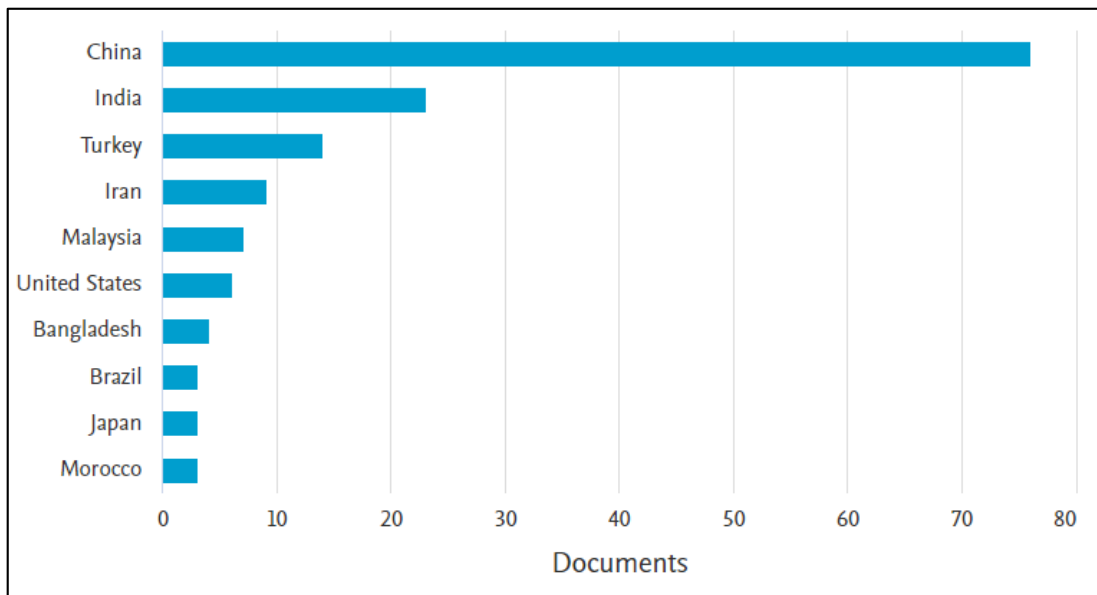


Figura 11 - Países com mais trabalhos sobre urbanização e meio ambiente e AHP.  
Fonte: Scopus (2023).

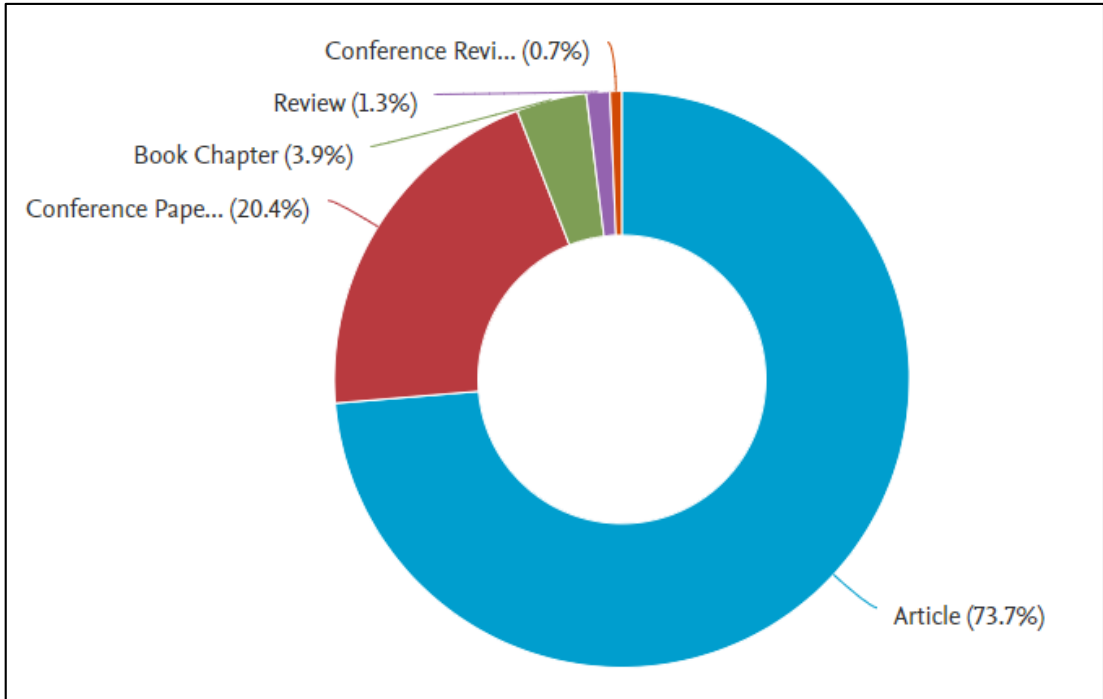


Figura 12 - Área temática das publicações sobre urbanização e meio ambiente e AHP.  
 Fonte: Scopus (2023).

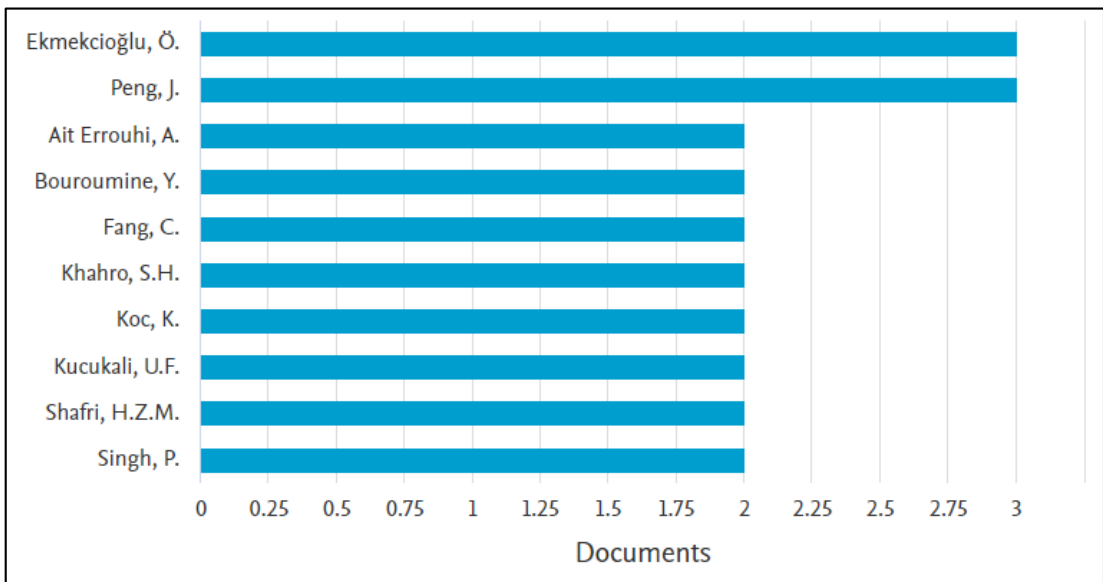


Figura 13 - Autores com mais publicações sobre urbanização e meio ambiente e AHP.  
 Fonte: Scopus (2023).

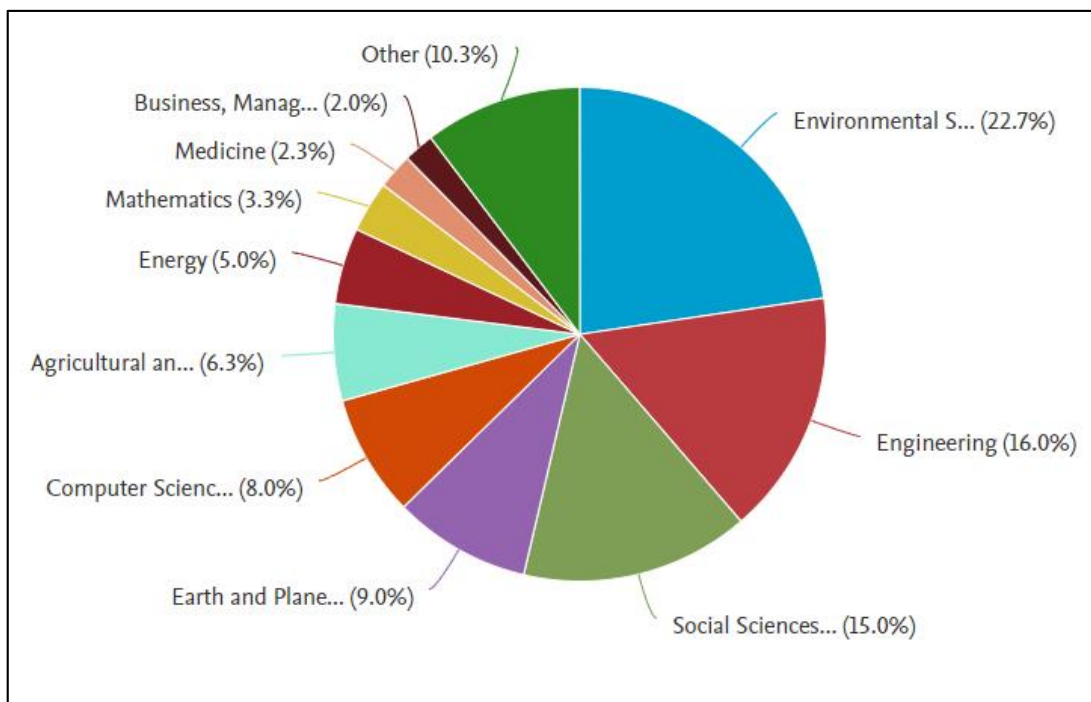


Figura 14 - Área temática das publicações sobre urbanização e meio ambiente e AHP.  
 Fonte: Scopus (2023).

Se observa que a primeira combinação de palavras gerou um maior resultado de trabalhos difundidos bem como autores com maior número publicações por se tratar de temas mais genéricos. O crescente aumento na divulgação de pesquisas relacionadas a urbanização e meio ambiente demonstrou ser uma temática que já vem sendo estudada há bastante tempo, mas sua importância e interesse vêm aumentando as investigações principalmente em países muito populosos. Nessa combinação de busca, os periódicos *Science of the Total Environment* e *Sustainability* foram o que tiveram mais publicações

Em se tratando da combinação de palavras urbanização, meio ambiente e AHP, os periódicos *Sustainability* e *Arabian Journal of Geosciences* foram o que tiveram mais publicações. Observa-se que por ser um tema mais específico, o número de publicações foi substancialmente inferior e também foram mais recentes as publicações, uma vez que o método AHP se consolidou no fim da década de 1980 e início de 1990. Mesmo assim, a quantidade de trabalhos publicados vem sendo incrementada ao longo dos anos, com pequenas oscilações, e também com países muito populosos como dentre as principais publicações.

Por fim, a temática pesquisada no presente trabalho abrange assuntos contextualizados e de grande importância para divulgação científica, visto que os resultados da pesquisa bibliométrica corroboram sua relevância.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Fluxograma das atividades

Para desenvolver uma metodologia de identificação de áreas aptas à urbanização e alcançar o propósito estabelecido no presente estudo, foi necessário o desenvolvimento de um procedimento a ser desenvolvido em etapas, conforme apresentado na Figura 15.

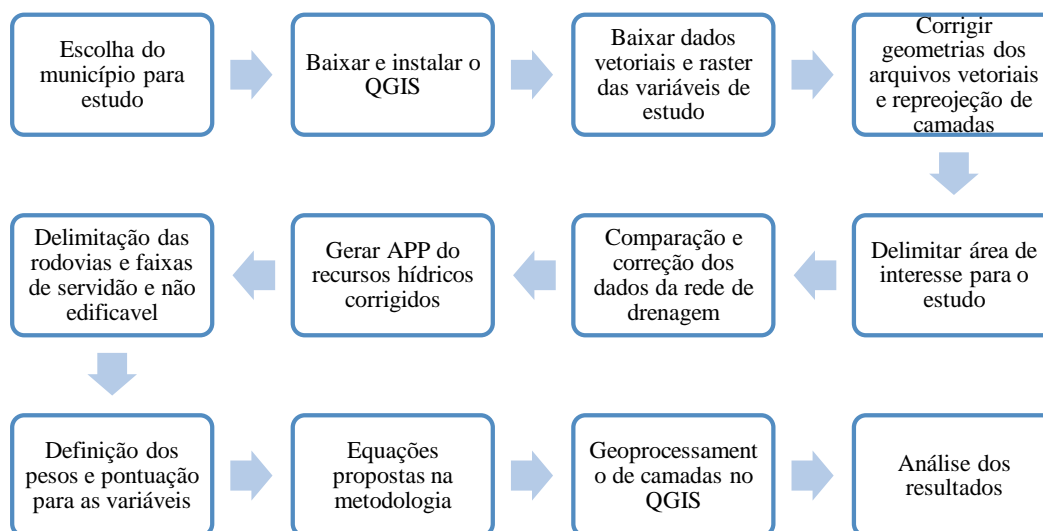


Figura 15 - Fluxograma com o roteiro de atividade do estudo.

### 5.2 Escolha do município para estudo

Na delimitação da área de estudo, foi utilizado o município de Lagoa Dourada, Minas Gerais, Brasil, que possui população estimada em 12.769 habitantes, densidade demográfica de 26,79 habitantes por quilômetro quadrado e área de 476.693 km<sup>2</sup>, para o ano 2022 (IBGE, 2023). Os limites do município e a sua localização entre os entes da federação estão demonstrados na Figura 16.

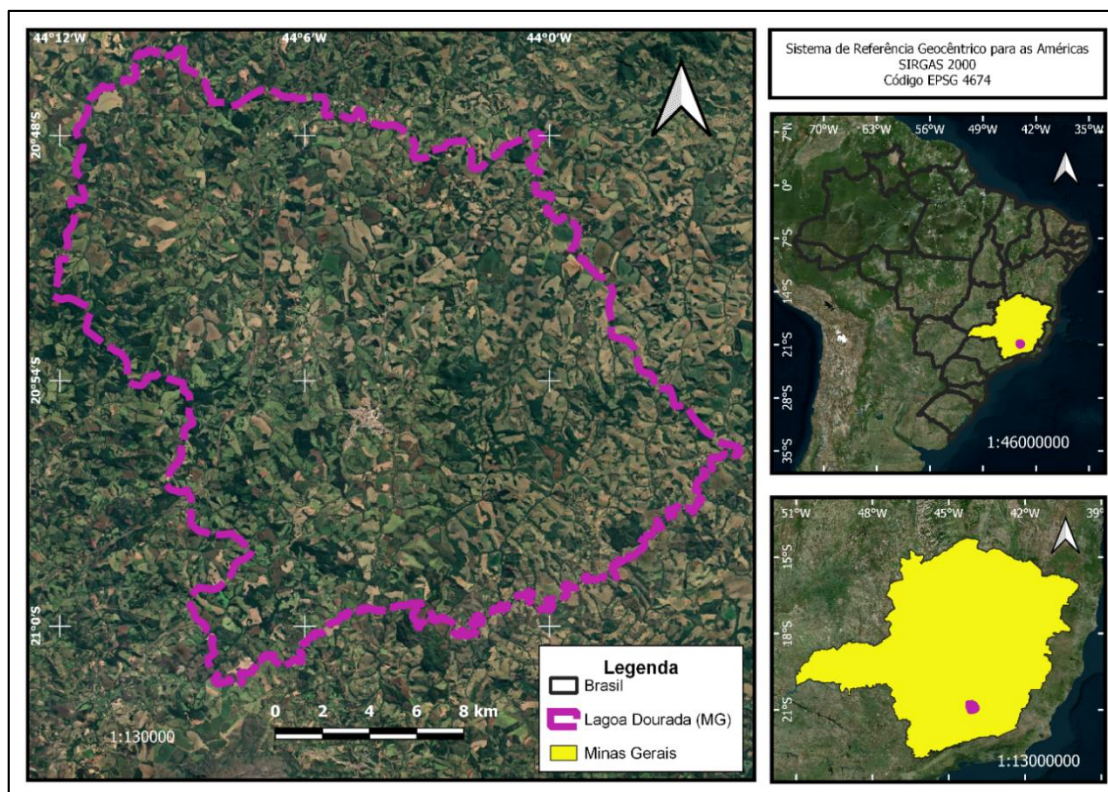


Figura 16 - O perímetro municipal de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: Adaptado de Bing Satélite (2023), Google Earth (2023), IBGE (2022) e SISEMA (2023).

O município está situado entre as isoietas de 1.400 a 1.500 mm, segundo série histórica de 1977 a 2006 (ANA, 2023), com precipitação anual média entre 1.420 e 1.533 mm (SISEMA, 2023), classificação climática de Köppen é Cwa, clima temperado húmido com inverno seco e verão quente (MARTINS et al., 2018), predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd 10) e Cambissolo Háptico Tb Distrófico (CXbd 1 e CXbd 13) (SISEMA; 2023; EMBRAPA, 2018). Está inserido nas Bacias Federais do Rio Grande e Rio São Francisco, na Zona Tropical Brasil Central, mesotérmico brando, média entre 10 e 15 °C, semi-úmido e de 4 a 5 meses secos, possui Índice de umidade de Thornthwaite Úmido B2 ( $40 \leq Iu < 60$ ) e unidades de compartimentos de relevo o Planalto Centro-Sul Mineiro, Planalto dos Campos das Vertentes e Planalto de Oliveira (SISEMA; 2023).

### 5.3 Uso Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e pode ser adquirido de forma gratuita, é licenciado segundo a licença pública geral e permite o manuseio de vetores, rasters e bases de dados (QGIS, 2023).

Assim, foi instalado o SIG de código aberto QGIS, versão 3.10.5 para realizar o manuseio, tratamento, análise dos dados matriciais e vetoriais utilizados no presente estudo e a geração dos mapas temáticos.

## 5.4 Obtenção de dados

### 5.4.1 Dados vetoriais do IDE SISEMA

Para estudar a parte urbanizada e de expansão urbana do município, utilizou-se com referência as seguintes camadas vetoriais obtidas de forma gratuita pela Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2023), no formato *Shapefile*, Datum SIRGAS 2000, Sistemas de Coordenadas Geográficas, com código 4674 da *European Petroleum Survey Group* (EPSG):

- Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial (ADMCE);
- Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC);
- Áreas prioritárias para conservação (APPC);
- Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (APPCB);
- Áreas prioritárias para recuperação (APPR);
- Áreas Protegidas IEF/ICMBio (AP), que inclui os arquivos das Áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Especial, Unidades de Conservação Federais, Unidades de Conservação Municipais, Reserva Particular do Patrimônio Natural e Unidades de Conservação Estaduais;
- Cobertura da Mata Atlântica 2019 (CMA);
- Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH (CE), que inclui os arquivos do Corredor ecológico Sossego-Caratinga e Corredor ecológico Serra do Curral-Espinhaço;
- Exposição do solo (ES);
- Manchas Urbanas no estado de Minas Gerais para o ano de 2015;
- Mapa de solos (MS);
- Rede de Drenagem das Bacias do Rio São Francisco e Rio Grande;
- Reserva da Biosfera (RB), que inclui as camadas Reserva da Biosfera da Caatinga, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço;
- Sítios Ramsar (SR);

- Terras indígenas FUNAI (TI);
- Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA (TQER);
- Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH);
- Vulnerabilidade do solo (VS) e
- Qualidade ambiental (QA).

A mancha urbana foi utilizada para definir a área de interesse do estudo, para priorizar áreas próximas da parte urbanizada do município. A Rede de drenagem das Bacias do Rio São Francisco e Rio Grande foram utilizadas para comparar com os dados de hidrografia dos imóveis rurais e gerar a área de preservação permanente na área de interesse para estudo.

As camadas vetoriais APPR, ES, QA e VS escolhidas uma vez que são consideradas no Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais, que compõe os instrumentos e projetos territoriais, enquanto o MS está na categoria Mapeamento de Solo (FEAM/UFV) (SISEMA, 2023). Tais variáveis podem determinar localidades com melhor aspecto construtivo.

As camadas ADMCE, AIPC, APPC, APPCB, AP, CMA, CE, RB, SR, TI, TQER e VNRH foram utilizadas porque se enquadram como critérios locais ou fatores de restrição ou vedação para o licenciamento ambiental de empreendimentos, segundo da Deliberação Normativa nº 217 de 2017 (MINAS GERAIS, 2017).

#### **5.4.2 Dados vetoriais do SICAR**

Foram utilizados os dados de hidrografia no formato *Shapefile*, Datum SIRGAS 2000, Sistemas de Coordenadas Geográficas, com código 4674 da *European Petroleum Survey Group* (EPSG), disponibilizados gratuitamente no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR, 2023) para comparar e delimitação dos recursos hídricos com a rede de drenagem das bacias hidrográficas da região.

A escolha por essa fonte de dados pode ser respaldada pelos vários imóveis rurais nos arredores do perímetro urbano e que poderão ser urbanizadas no futuro. Desse modo, a análise de informações acerca dos cursos d'água e nascentes nessa base de dados poderá melhorar o planejamento de uso e ocupação do solo.

### 5.4.3 Dados matriciais INPE

Como dados matriciais, foram usadas as informações de declividade expressa em porcentagem (%) no formato GeoTiff (raster), Datum WGS84 e código 4326 da EPSG, Sistemas de Coordenadas Geográficas, com informação estruturada em quadrículas e pixel de resolução de 30 por 30 metros, do projeto TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, gerados a partir da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (INPE, 2023).

A Figura 17 apresenta a variação da declividade (%) no perímetro municipal de Lagoa Dourada (MG).

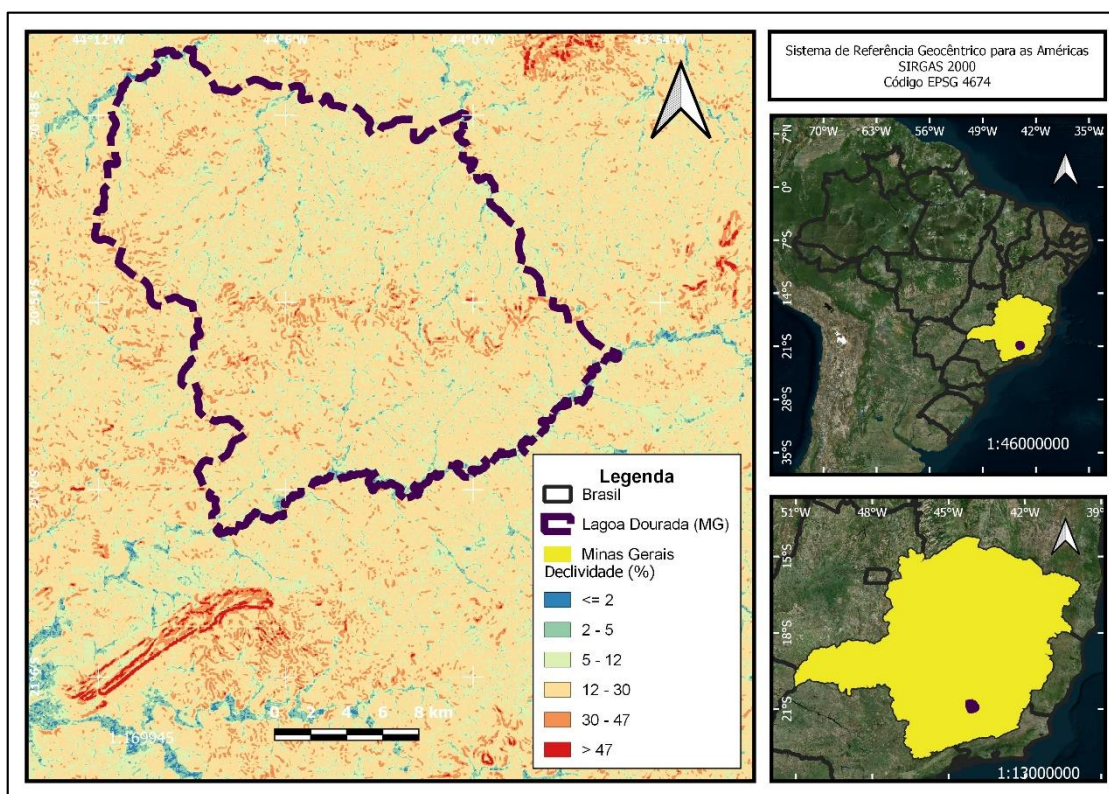


Figura 17 - Declividade no perímetro municipal de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: Adaptado de Bing Satélite (2023), Google Earth (2023), IBGE (2022) e SISEMA (2023).

## 5.5 Reprojecção de camadas e correção de geometrias

Com o emprego do Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto QGIS, versão 3.10.5, o arquivo raster obtido por meio do portal TOPODATA, os dados vetoriais do IDE SISEMA e SICAR foram reprojutados para o Datum SIRGAS 2000, Fuso UTM (Universal

Transversa de Mercator) 23 Sul, código número 31983 da EPSG, Sistema Projetado de Coordenadas.

Posteriormente, foi utilizada a ferramenta de processamento “Corrigir Geometrias” nas camadas vetoriais reprojctados para SIRGAS 2000 F23 S, código nº 31983 da EPSG, com objetivo de criar uma representação válida de uma dada geometria inválida sem perder nenhum dos vértices de entrada, possibilitando os cálculos e operações de geoprocessamento subsequentes.

## 5.6 Delimitação de área de interesse para o estudo

Para definir a área de interesse para o zoneamento de aptidão para urbanização, foi utilizada a camada vetorial com a mancha urbana reprojctada e corrigida no Datum SIRGAS 2000 F23 S e código 31983 da EPSG aplicando a ferramenta de consulta de camada “Filtro” e deixada somente a feição que abrangia o município de Lagoa Dourada (MG).

Posteriormente, foi aplicado um *buffer* (bordeado) de 2 km com configuração de 10 segmentos, para representar as principais regiões onde possa ocorrer a expansão urbana. A Figura 18 apresenta a área de interesse para o estudo sobre aptidão para a urbanização.



Figura 18 - Delimitação da área de interesse.  
Fonte: Adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

## 5.7 Comparação e correção dos dados da rede de drenagem

Com intuito de gerar as áreas de preservação permanente dos recursos hídricos na área de interesse, foram analisados os dados da rede de drenagem do Rio São Francisco e Rio Grande, representado na Figura 19, enquanto que os dados da hidrografia (nascentes e cursos d'água) dos imóveis rurais cadastrados estão ilustradas na Figura 20.

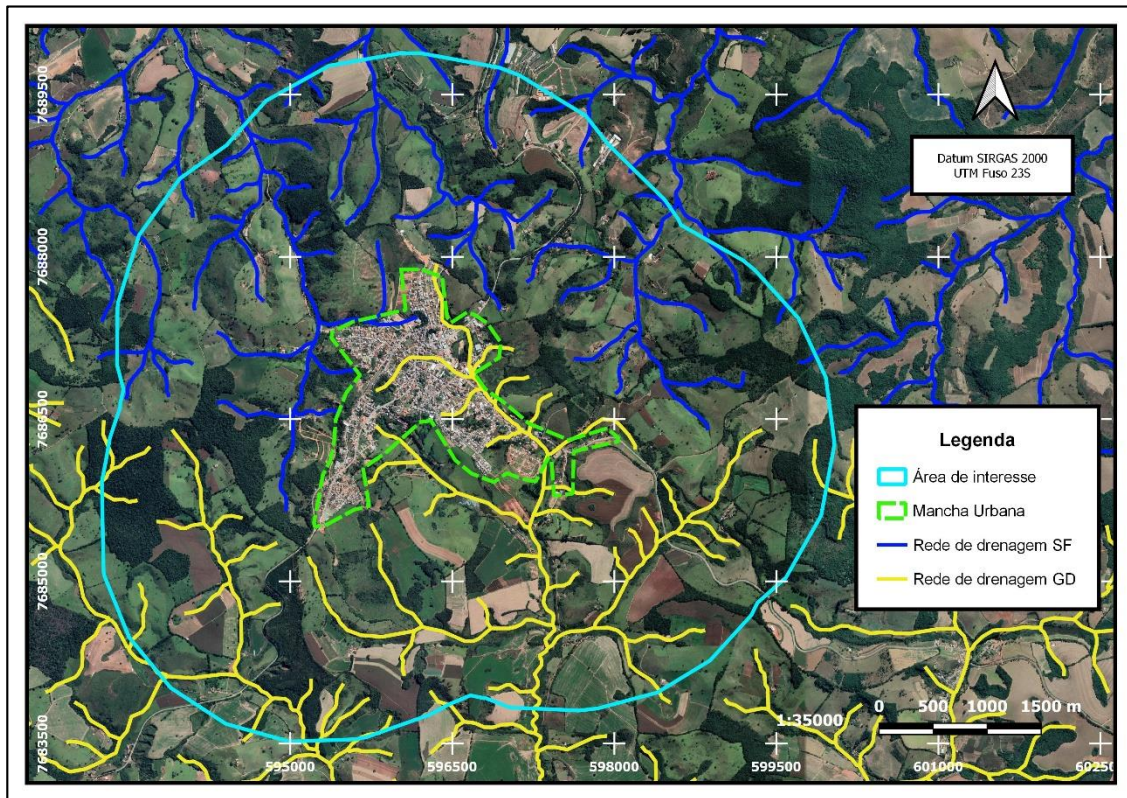


Figura 19 - Rede de drenagem das bacias hidrográficas do Rio São Francisco e do Rio Grande.  
Fonte: Adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

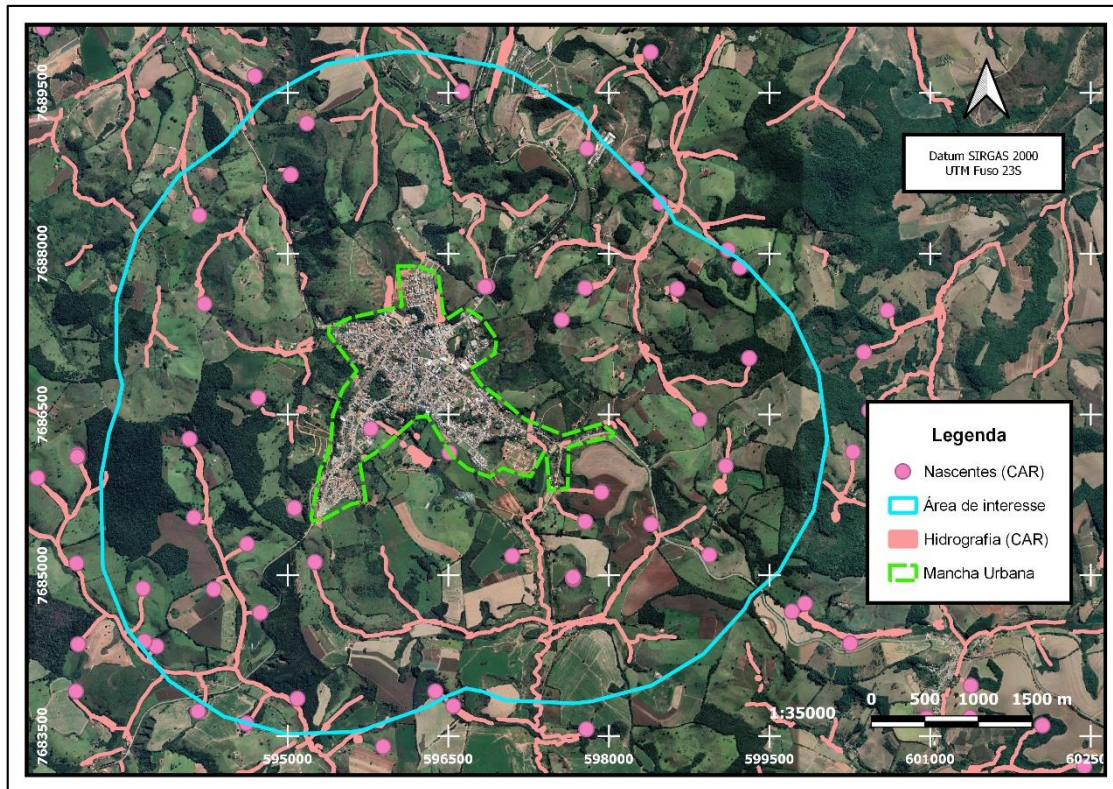


Figura 20 - Nascentes presentes na rede de drenagem dos Rios São Francisco e Rio Grande.  
 Fonte: Adaptado do Google Earth (2023) e SICAR (2023).

A partir da comparação dos dados, com auxílio das imagens do *Google Earth*, foi possível observar algumas divergências e inconsistências acerca da localização dos recursos hídricos. Na Figura 21, nota-se que um curso d'água delimitado na rede de drenagem do Rio Grande (amarelo) está em área onde claramente são desenvolvidas práticas agrícolas, não havendo nenhum indicativo de que o curso d'água possua essa extensão. Os dados informados no CAR do imóvel são mais atuais e coerentes e sobre a situação da nascente e percurso do curso d'água, assim foram utilizados esses dados nesse trecho.

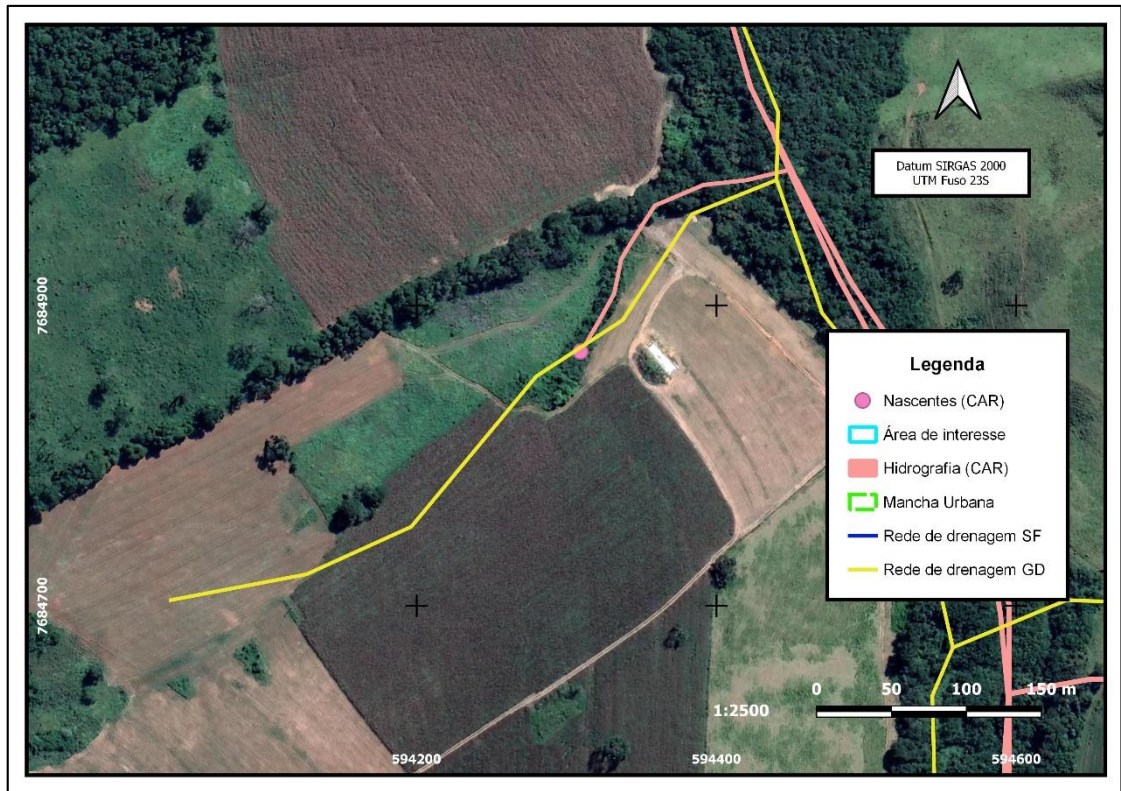


Figura 21 - Exemplo 1 de divergência na rede de drenagem.  
 Fonte: Adaptado do Google Earth (2023), SICAR (2023) e SISEMA (2023).

Outra divergência também observada foi a presença de recurso hídrico cadastrado no CAR do imóvel, porém na rede hidrográfica não havia essa caracterização. Na Figura 22 pode se observar somente o curso d'água declarado no CAR (sem nascente), porém a inexistentes de ambos na rede de drenagem. Assim, a correção foi realizada para que o curso d'água desenhado ficasse mais próximo do informado pelo CAR do imóvel.

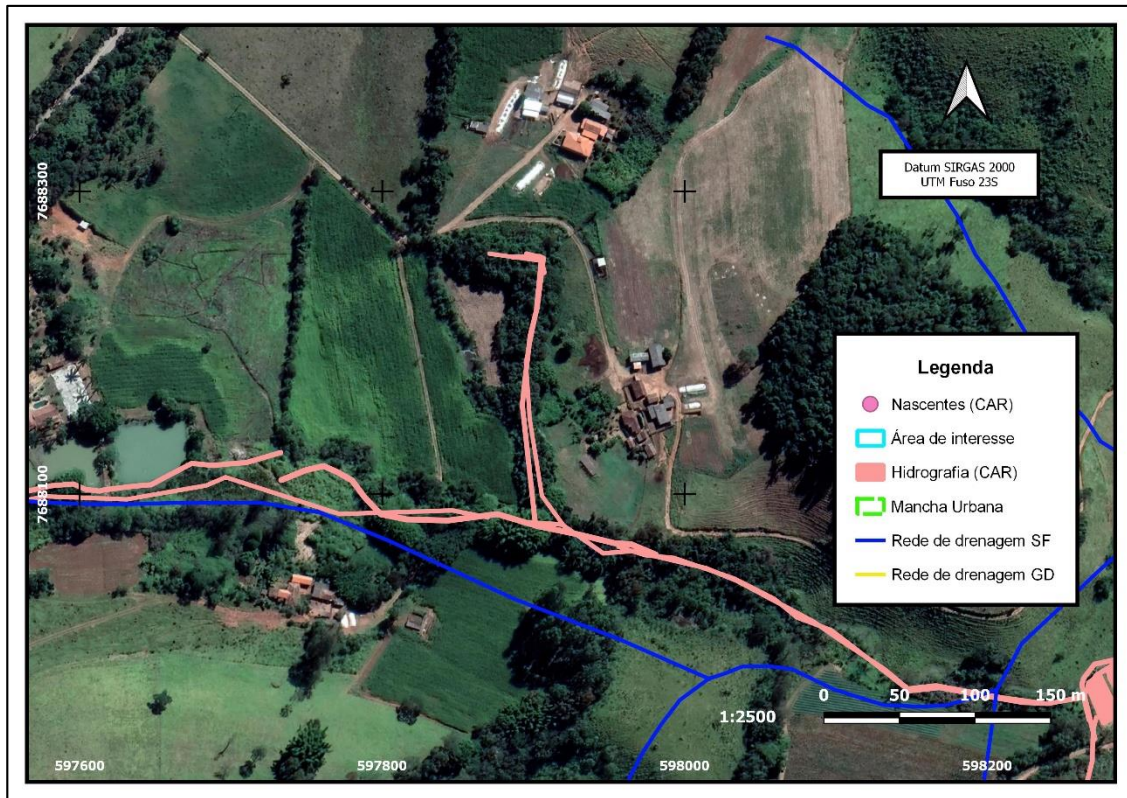


Figura 22 - Exemplo 2 de divergência na rede de drenagem.  
 Fonte: Adaptado do Google Earth (2023), SICAR (2023) e SISEMA (2023).

Como último exemplo de divergência, existem localidades onde se observou nas imagens do *Google Earth* a presença de reservatórios de água e seu respectivo curso d'água e que não foram castrados no CAR, porém a rede de drenagem apresentou esses dados, com um pouco de deslocamento, conforme Figura 23.

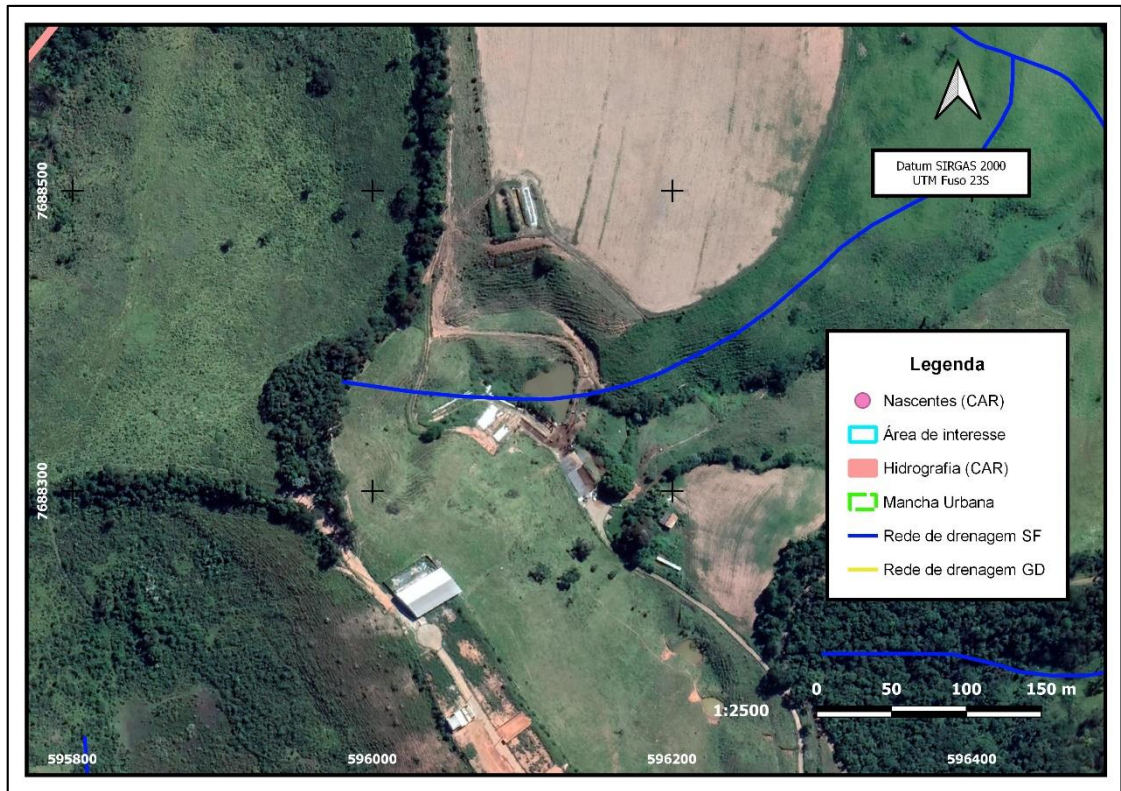


Figura 23 - Exemplo 3 de divergência na rede de drenagem.  
Fonte: Adaptado do Google Earth (2023), SICAR (2023) e SISEMA (2023).

Desse modo, foram geradas duas camadas *Shapefile* no Datum SIRGAS 2000 F23 S e código 31983 da EPSG, uma do tipo ponto para representar as nascentes corrigidas e outra do tipo linha para representar os cursos d'água corrigidos.

Sendo assim, após realizadas as análises e adaptações para adequar as condições que fossem mais prováveis de existirem na prática, a delimitação dos recursos hídricos para o presente estudo pode ser visualizada na Figura 24.

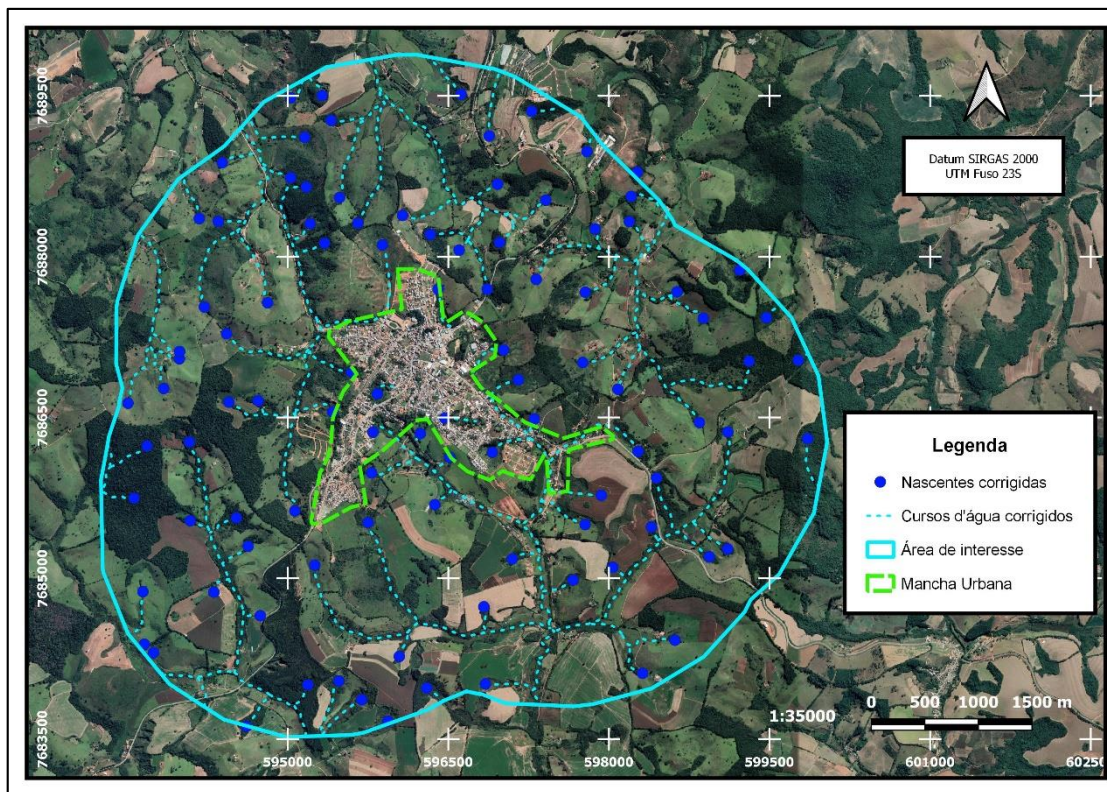


Figura 24 - Delimitação dos recursos hídricos na área de interesse.  
 Fonte: Adaptado do Google Earth (2023), SICAR (2023) e SISEMA (2023).

## 5.8 Geração das APP dos recursos hídricos corrigidos

Segundo a Lei 12.651 de 2012 (BRASIL, 2012), que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa no âmbito federal, e a Lei nº 20.922 de 2013 (MINAS GERAIS, 2013), que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais, definem que as Áreas de Preservação Permanentes (APP) em zonas rurais ou urbanas são:

-As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros.

- As faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura, e 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura.

Conforme observado nos dados cadastrados no CAR (SICAR,2023) e Rede de drenagem do Rio Grande e São Francisco, os cursos d'água situados na área de interesse possuem largura inferior a 10 metros. Desse modo foram adotados o raio de 50 metros de APP para nascentes e 30 metros para os cursos d'água corrigidos.

Para gerar as APP das nascentes e cursos d'água, utilizou-se a camada com as nascentes e cursos d'água corrigidos no formato *Shapefile* no Datum SIRGAS 2000 F23 S e código 31983 da EPSG e realizado o *buffer* (bordeado) de 50 metros para a primeira e 30 metros para a segunda, com configuração de 5 segmentos, estilo de cobertura do fim e da união arredondado. Assim criou-se duas camadas temporárias, representando a APP das nascentes e cursos d'água, conforme Figura 25.

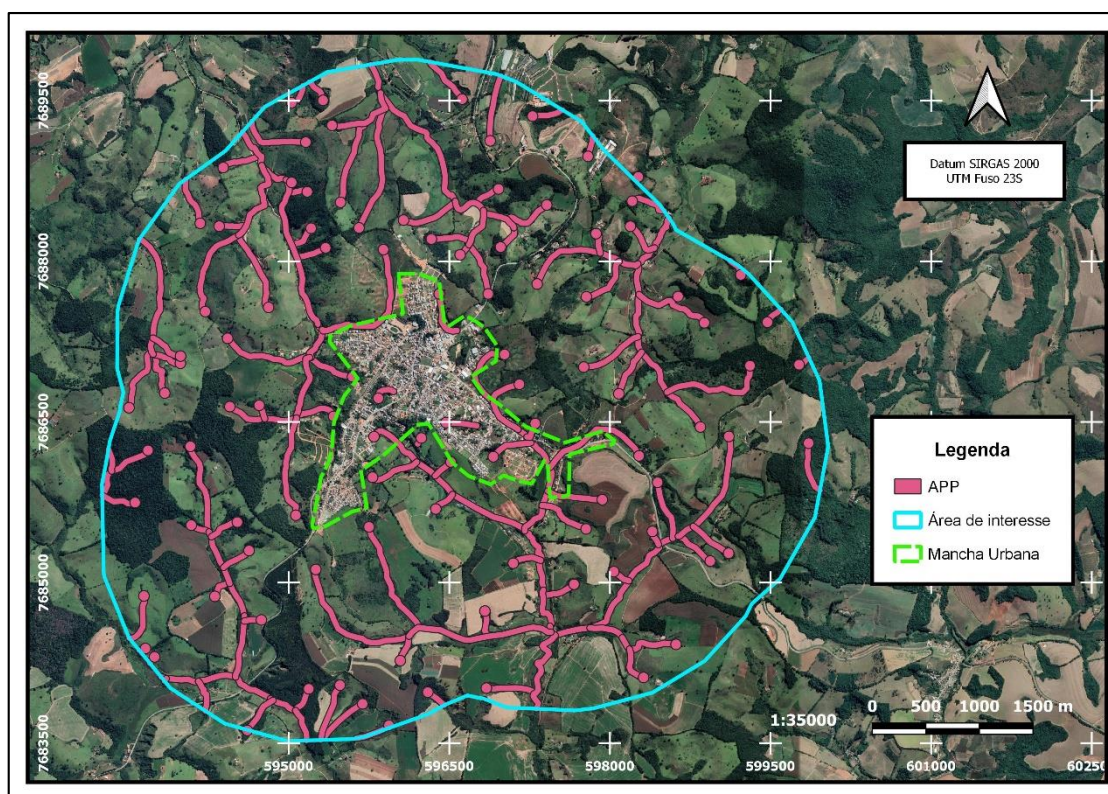


Figura 25 - Delimitação das APP de nascente e cursos d'água (separado).  
Fonte: Adaptado do Google Earth (2023), SICAR (2023) e SISEMA (2023).

Para classificar às áreas que estão dentro e fora da APP na área de interesse, primeiramente, foram copiadas as feições geradas no *buffer* (bordeado) das nascente e cursos d'água para uma camada somente. Em seguida as feições foram selecionadas, mescladas e posteriormente utilizada a ferramenta de processamento “Corrigir Geometrias” na camada resultante, representada na Figura 26.

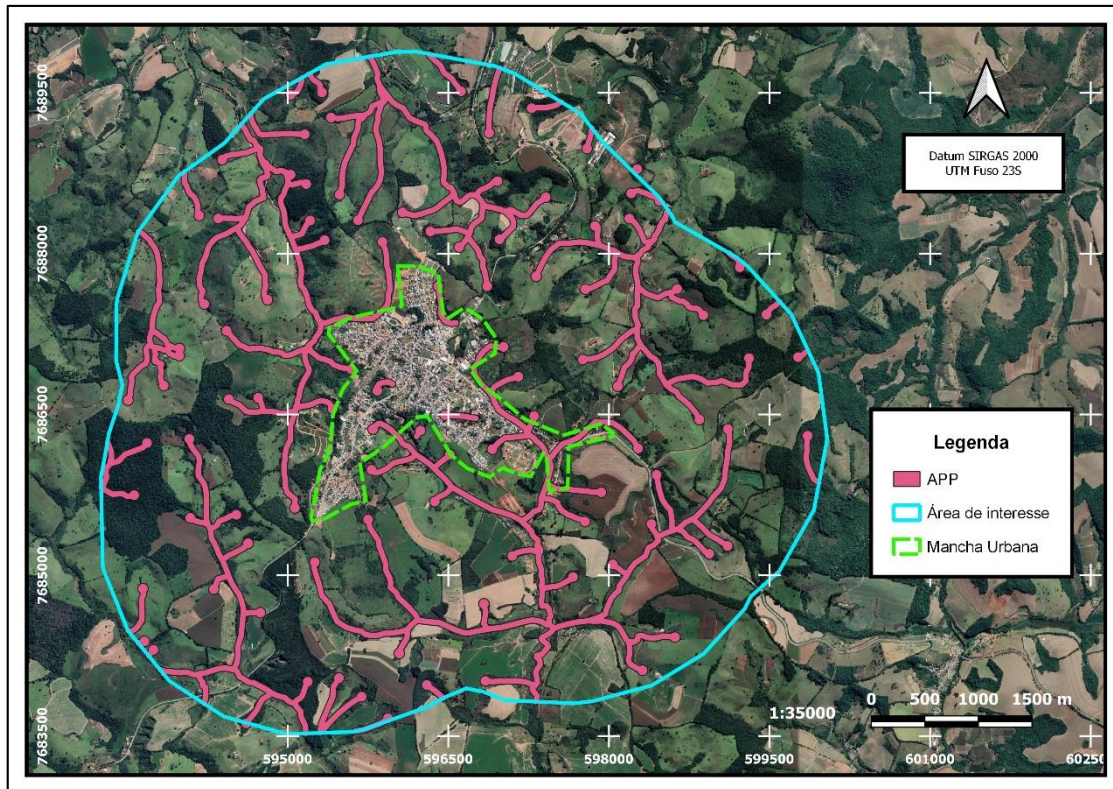


Figura 26 - Delimitação das APP de nascente e cursos d'água (mesclado).  
 Fonte: Adaptado do Google Earth (2023), SICAR (2023) e SISEMA (2023).

Em seguida, a camada com a APP mesclada foi recortada com a área de interesse, depois realizou-se a diferença entre a área de interesse e APP mesclada recortada (para delimitar áreas fora da APP na área de interesse). Desse modo, foram copiadas as feições das áreas fora da APP e APP mesclada recortada para uma camada só, permitindo a classificação das áreas que estão dentro e fora da APP na área de interesse, conforme Figura 27.

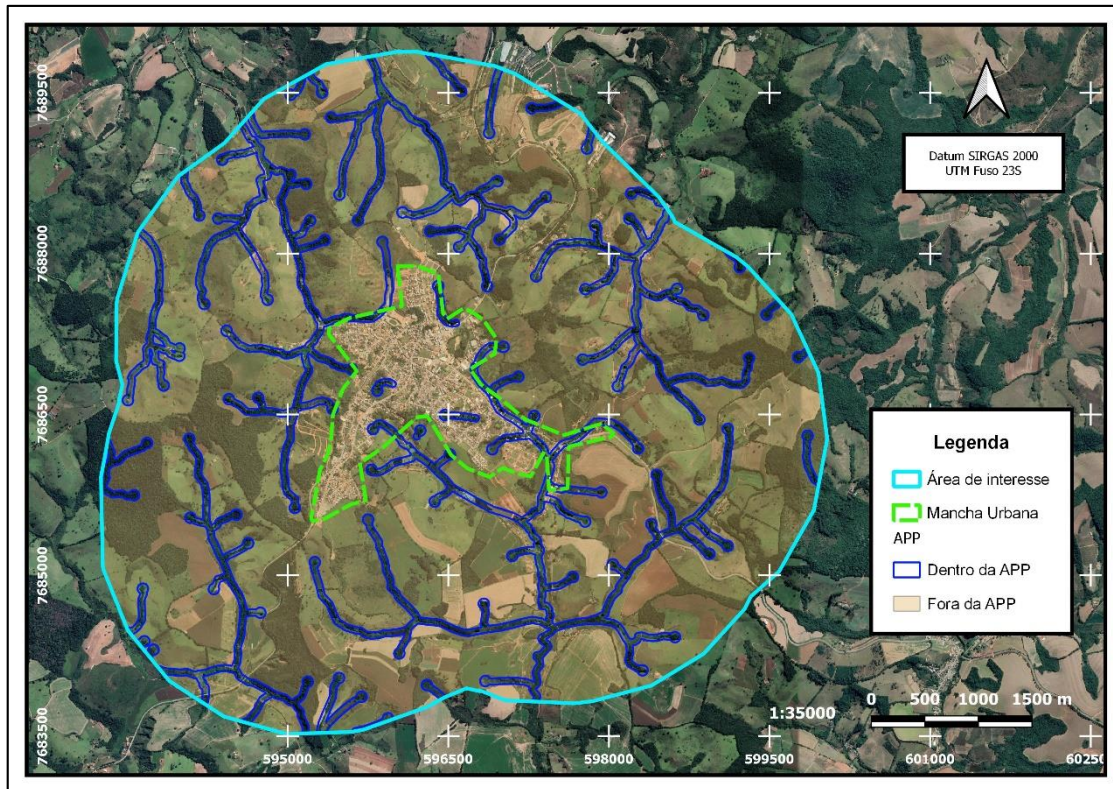


Figura 27 - Delimitação das áreas que estão dentro e fora da APP na área de interesse.  
Fonte: Adaptado do Google Earth (2023), SICAR (2023) e SISEMA (2023).

## 5.9 Delimitação das rodovias e faixas de servidão e não edificável

Para delimitação das rodovias, faixas de servidão e faixa não edificável dentro da área de interesse, foi criada uma camada do tipo linha em formato *Shapefile* no Datum SIRGAS 2000 F23 S e código 31983 da EPSG utilizadas as imagens do *Google Earth* para localizar as principais rodovias que cortam o município, a MGC-383 e MG-275.

Conforme observado na Figura 28, o trecho da rodovia MGC-383, inserido dentro da parte urbanizada do município, foi desconsiderado porque a geração das faixas de servidão e faixa não edificável (regiões que não são permitidas a construções) englobará casas e lotes que já consolidados.

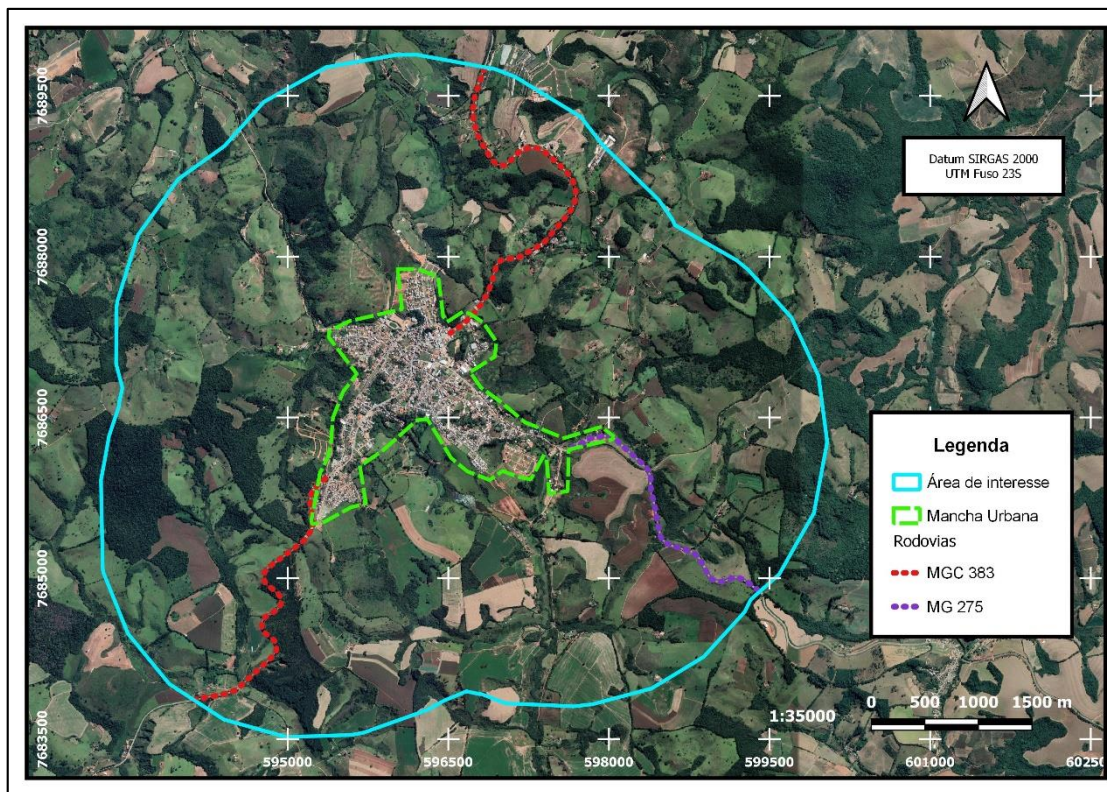


Figura 28 - Delimitação das rodovias MGC-383 e MG-275.  
 Fonte: Adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

Após consulta a Unidade Regional do DER-MG, foram prestadas as seguintes informações a respeito das faixas das rodovias:

- Rodovia MGC-383, trecho Acesso Entre Rios de Minas a São João Del Rei: a faixa de domínio será de 30,0 metros, ou seja, 15,0 metros para cada lado, contados a partir do eixo da pista de rolamento (faixa amarela) e área não edificante de 15,0 metros de largura e é considerada a partir do final da faixa de domínio.

- Rodovia MG-275, trecho Lagoa Dourada a Carandaí: faixa de domínio de 30,0 metros, ou seja, 15,0 metros para cada lado, contados a partir do eixo da pista de rolamento (faixa amarela) e área não edificante de 15,0 metros de largura e é considerada a partir do final da faixa de domínio.

Sendo assim, para delimitar as faixas de servidão e faixa não edificável das rodovias, foi realizado o *buffer* (bordeado) de 30 metros (para englobar as duas faixas) com configuração de 5 segmentos, estilo de cobertura do fim e da união arredondado. Em seguida, foi recortado o *buffer* representando as faixas das rodovias com a área de interesse, depois foi realizada a diferença entre a área de interesse e o *buffer* das faixas das rodovias recortado (para delimitar áreas fora das faixas da rodovia na área de interesse).

Desse modo, foram copiadas as feições das áreas fora das faixas e o *buffer* das faixas das rodovias recortado para uma camada só, permitindo a classificação das áreas que estão dentro e fora das faixas de servidão (FS) e faixa não edificável (FNE) das rodovias na área de interesse, conforme Figura 29.

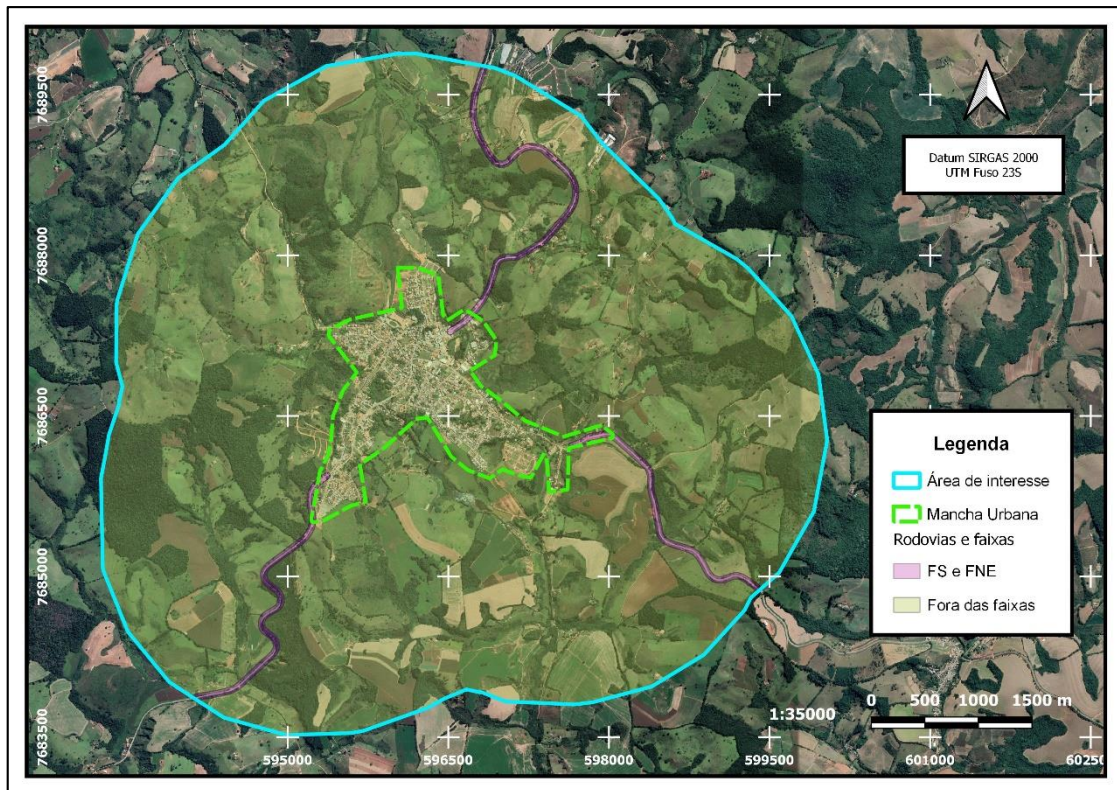


Figura 29 - Delimitação faixas de servidão e não edificável das rodovias  
Fonte: Adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

## 5.10 Definição da pontuação e pesos das variáveis

### 5.10.1 Pontuação dos atributos da declividade (raster)

Para classificação da aptidão à urbanização em função da declividade, foram utilizados intervalos expressos nas Tabelas 7.

Tabela 7 - Aptidão para urbanização em função da declividade.

<b>Declividade</b>	<b>Aptidão para urbanização</b>	<b>Pontuação</b>
Maior que 47%	Não recomendável	0
0 a 2%	Muito Baixa	1
30 a 47%	Baixa	2
12 a 30%	Média	3
5 a 12%	Alta	4
2 a 5%	Muito Alta	5

Fonte: Adaptado de Brasil (2012), Brasil (1979), Andrade e Lupinacci (2021), Biase (1992) e Ross (1994).

Os intervalos de declividade foram estipulados seguindo a Lei 12.651 de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (BRASIL, 2012), Lei n 6.766 de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano (BRASIL, 1979) e propostas elaboradas por Andrade e Lupinacci (2021), Biase (1992) e Ross (1994). As áreas de inclinação entre 25° e 45° (aproximadamente 47% a 100%) são consideradas como de uso restrito e serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agronômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social (BRASIL; 2012).

Nos locais com declividade de 0 a 2% existe alta possibilidade de alagamento (ANDRADE; LUPINACCI, 2021; BIASE, 1992), enquanto os locais com declividade acima de 30% são considerada como risco muito forte para processos erosivos e deslizamentos/escorregamentos de solo (ROSS, 1994), porém é permitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes (BRASIL, 1979). A declividade até 12% é considerada como limite para os padrões mais comuns de mecanização agrícola no Brasil e de 2 a 5% é o limite urbano-industrial (ANDRADE; LUPINACCI, 2021; BIASE, 1992).

O arquivo raster com informação da declividade reprojeto para SIRGAS 2000, Fuso 23 S, código 31983 da EPSG, foi reclassificado atribuindo os valores de pontuação de acordo com os intervalos definidos na Tabela 7. Posteriormente foi recortado usando como camada máscara a área de interesse, gerando o arquivo com a aptidão da declividade à urbanização, conforme Figura 30.

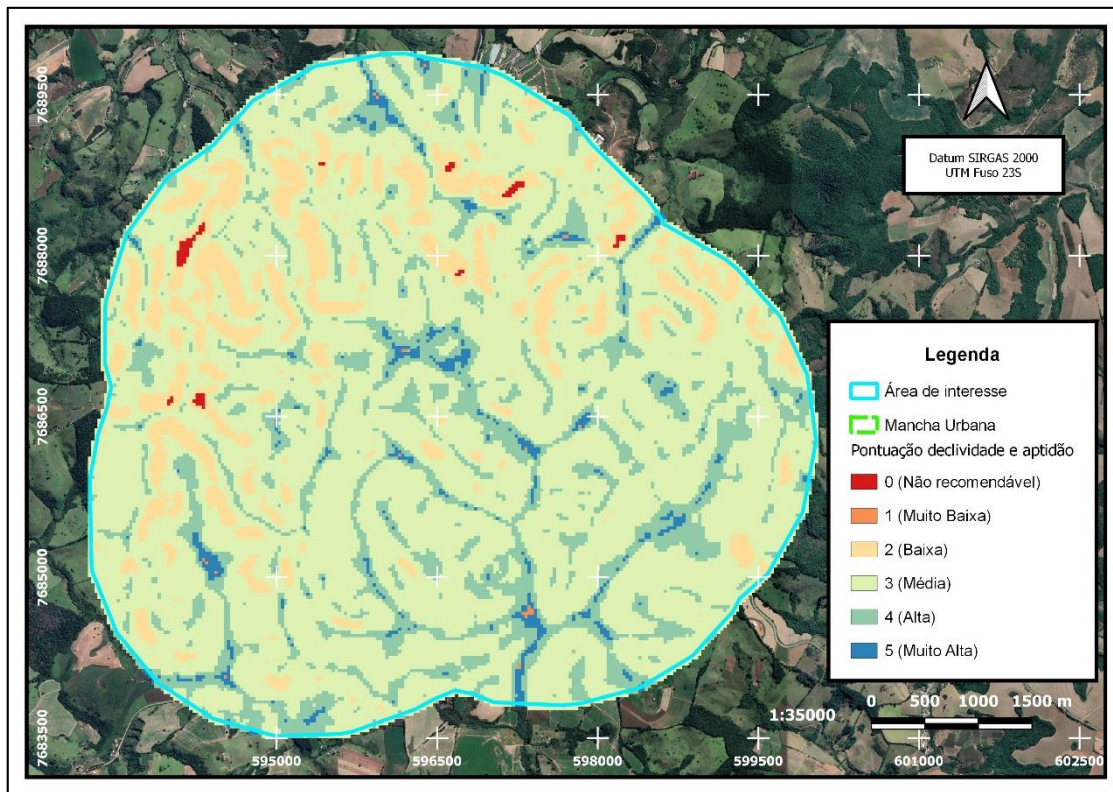


Figura 30 - Pontuação e aptidão da declividade à urbanização.  
Fonte: Adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

### 5.10.2 Pontuação dos atributos nos dados vetoriais

As variáveis APPR, ES, QA e VS são levadas em consideração no Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais, que compõe os instrumentos e projetos territoriais enquanto que o MS está na categoria Mapeamento de Solo (FEAM/UFV) (SISEMA, 2023), apresentando grande interesse para o aspecto construtivo. Enquanto que ADMCE, AIPC, APPC, APPCB, AP, CMA, CE, RB, SR, TI, TQER e VNRH foram utilizadas porque se enquadram como critérios locais ou fatores de restrição ou vedação, ou seja, são de grande relevância ambiental.

A Tabela 8 traz a classificação de cada variável segundo o Sisema (2023), o critério, classificação e pontuação para aptidão da urbanização adotados no presente estudo.

Tabela 8 - Classificação, critério e pontuação adotados para aptidão da urbanização.

Variáveis	Interesse	Critérios estipulados para aptidão para urbanização				
		Não recomendável	Baixa aptidão	Média aptidão	Alta aptidão	Muito alta aptidão
APPR	Construtivos	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
ES		Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
MS		Espodossolos, Gleissolos, Organossolos e Vertissolos	Chernossolos, Luvissolos, Neossolos e Planossolos	Cambissolos e Plintossolos	Argissolos	Latosolos e Nitossolos
QA		Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
VS		Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
ADMCE	Relevância Ambiental	Sim	-	-	-	Sem restrição
AIPC		Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
APP		Sim	-	-	-	Sem restrição
APPC		Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
APPCB		Especial, extrema, muito alta e alta	-	-	-	Sem restrição
AP		Áreas Protegidas	-	-	-	Sem restrição
CMA		Floresta atlântica, refugio, savana	-	-	-	Outros, antropizados e nuvem
CE		Sim	-	-	-	Sem restrição
RB		Núcleo e Amortecimento	Transição	-	-	Sem restrição
SR		Sim	-	-	-	Sem restrição
TI		Sim	-	-	-	Sem restrição
TQER		Sim	-	-	-	Sem restrição
VNRH		Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
FSNE	Rodovias	Sim	-	-	-	Sem restrição
<b>Pontuação</b>		<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Fonte: Adaptado de SISEMA (2023).

Definição: Áreas prioritárias para recuperação (APPR), Exposição do solo (ES), Mapa de solos (MS), Qualidade ambiental (QA), Vulnerabilidade do solo (VS), Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial (ADMCE), Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC), Área de Preservação Permanente (APP), Áreas prioritárias para conservação (APPC), Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (APPCB), Áreas Protegidas IEF/ICMbio (AP), que inclui os arquivos das Áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Especial, Unidades de Conservação Federais, Unidades de Conservação Municipais, Reserva Particular do Patrimônio Natural e Unidades de Conservação Estaduais, Cobertura da Mata Atlântica 2019 (CMA), Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH (CE), que inclui os arquivos do Corredor ecológico Sossego-Caratinga e Corredor ecológico Serra do Curral-Espinhaço, faixas de servidão e faixa não edificável das rodovias (FSNE), Reserva da Biosfera (RB), que inclui as camadas Reserva da Biosfera da Caatinga, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Sítios Ramsar (SR), Terras indígenas FUNAI (TI), Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA (TQER) e Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH).

Para as variáveis APPR, ES, QA e VS o critério para a aptidão à urbanização considerou que os locais mais antropizados e com menos vegetação nativa na área de interesse possuem a classificação como muito alta para as duas primeiras (APPR e ES), média para a penúltima (QA) e VS foi classificada como muito alta, segundo o Sisema (2023). Desse modo, os locais em APPR e ES categorizados como muito alta e com QA e VS muito baixa representaram os mais aptos à urbanização, recebendo a maior pontuação. Na variável MS, a pontuação proposta foi em função das características e atributos (profundidade, estrutura, relevo).

As variáveis ADMCE, APP, APPCB, AP, CMA, CE, FSNE, SR, TI e TQER receberam apenas pontuações de 0 (não recomendável para urbanização) para os locais que estão inseridos nessas áreas (não é recomendável a urbanização em APP ou em terra indígena, por exemplo) ou nas descrições trazidas pelo Sisema (2023) (não é recomendável a urbanização em floresta atlântica, refúgio e savana como cobertura da mata atlântica, por exemplo) e pontuação de 5 (muito alta aptidão à urbanização) os locais que não estão inseridas nas áreas delimitadas (locais fora das faixas de servidão e faixa não edificável das rodovias e não consideradas como corredores são área com maior aptidão).

As variáveis AIPC, APPC, RB e VNRH tiveram a pontuação variando de forma gradativa conforme descrição dos atributos da camada trazido pelo Sisema (2023). Por exemplo, a medida que aumenta a vulnerabilidade de natural dos recursos hídricos a aptidão à urbanização vai diminuindo.

Após definidos os critérios de pontuação, foi criada uma coluna na tabela de atributos dos arquivos *Shapefiles* das variáveis listadas na Tabela 8 e inseridos as pontuações conforme estabelecido na mesma. Posteriormente as camadas foram recortadas usando como camada máscara a área de interesse.

Logo depois, foi realizada a conversão dos vetores para raster (rasterizar), com resolução horizontal (largura) e vertical (altura) de 1 metro, extensão de saída para a camada área de interesse, Datum SIRGAS 2000 F23 S e código 31983 da EPSG e utilizadas as colunas com a pontuação como campo de valor.

### **5.10.3 Método AHP para definição de pesos das variáveis**

Para execução do método AHP é necessária a atribuição de importância por meio de uma escala de comparação entre os critérios (SAATY, 1987; SAATY, 1990), permitindo correlacionar as variáveis em função da aptidão a urbanização no presente estudo com uma

matriz de decisão, onde a matriz recíproca  $A = [a_{ij}]_{n \times n}$  (onde  $n \times n$  equivale a critério  $\times$  critério,  $i$  o número da coluna e  $j$  o número da linha da matriz).

Como no presente estudo as variáveis foram separadas em função de suas características construtivas e de relevância ambiental, foi realizada a comparação par a par separada, ou seja, atribuição de importância, usando os critérios definidos na Tabela 9 de Saaty (1977), Saaty (1987) e Saaty (1990), foi em uma matriz recíproca para variáveis construtivas e outra outra de relevância ambiental. Como resultado, obteve-se as Tabelas 10 e 11, com a comparação pareada entre as respectivas variáveis.

Tabela 9 - A escala fundamental de Saaty.

<b>Intensidade de importância em escala absoluta</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igualdade de importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de um sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem fortemente um atividade sobre outra
5	Importância essencial ou forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre o outro
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e seu domínio demonstrado na prática
9	Extrema importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre outra é da mais alta ordem possível de afirmação
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes.	Quando o compromisso é necessário
Recíprocos	Se a atividade i tiver um dos números acima Atribuído a ele quando comparado com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i	-
Racionais	Índices decorrentes da escala	Se a consistência fosse forçada pela obtenção de n valores numéricos para abranger a matriz

Fonte: Adaptado de Saaty (1977), Saaty (1987) e Saaty (1990).

Tabela 10 - Matriz de comparação pareada entre as variáveis de interesse ambiental.

Variáveis	APP	ADMCE	APPC	APPCB	AP	CMA	CE	AIPC	TQER	RB	SR	TI	VNRH
APP	1	1	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	1
ADMCE	1	1	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	1
APPC	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1	1	1/3	1	1	1/3
APPCB	1/3	1/3	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	1
AP	1	1	3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	1
CMA	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1	3	3	3	1	3	3	1
CE	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1/3	1	1	1/3
AIPC	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1/3	1	1	1/3
TQER	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1/3	1	1	1/3
RB	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1	3	3	3	1	3	3	1
SR	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1/3	1	1	1/3
TI	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1/3	1	1	1/3
VNRH	1	1	3	1	1	1	3	3	3	1	3	3	1
SOMA	7,000	7,000	25,000	12,333	7,667	17,000	27,000	27,000	27,000	17,000	27,000	27,000	9,000

Fonte: O autor (2023).

Definição: Área de Preservação Permanente (APP), Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial (ADMCE), Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC), Áreas prioritárias para conservação (APPC), Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (APPCB), Áreas Protegidas IEF/ICMBio (AP), que inclui os arquivos das Áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Especial, Unidades de Conservação Federais, Unidades de Conservação Municipais, Reserva Particular do Patrimônio Natural e Unidades de Conservação Estaduais, Cobertura da Mata Atlântica 2019 (CMA), Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH (CE), que inclui os arquivos do Corredor ecológico Sossego-Caratinga e Corredor ecológico Serra do Curral-Espinhaço, Reserva da Biosfera (RB), que inclui as camadas Reserva da Biosfera da Caatinga, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Sítios Ramsar (SR), Terras indígenas FUNAI (TI), Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA (TQER) e Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH).

Tabela 11 - Matriz de comparação pareada entre as variáveis construtivas.

Variáveis	APPR	DECL	ES	MS	QA	VS
APPR	1	1	3	5	3	5
DECL	1	1	5	5	3	5
ES	1/3	1/5	1	3	1/3	1
MS	1/5	1/5	1/3	1	1/5	1/3
QA	1/3	1/3	3	5	1	3
VS	1/5	1/5	1	3	1/3	1
Soma	3,067	2,933	13,333	22,000	7,867	15,333

Fonte: O autor (2023).

Definição: Áreas prioritárias para recuperação (APPR), Declividade (DECL), Exposição do solo (ES), Mapa de solos (MS), Qualidade ambiental (QA) e Vulnerabilidade do solo (VS).

Para execução do método AHP proposto por Saaty (1977), foram seguidos os procedimentos descritos por Avila (2023), que orienta que após construir a matriz de decisão seguindo a fundamental de Saaty, deve-se encontrar o autovalor e o autovetor para em seguida se definir o vetor de prioridades e a consistência da matriz de decisão. Assim, foi realizada a normalização da matriz de decisão, conforme Equação 1, para duas matrizes ordem 6 (n=6, das variáveis construtivas) e ordem 13 (n=13, para as variáveis de relevância ambiental). O resultado está apresentado nas Tabelas 12 e 13.

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- $a_{ij}^*$  é a normalização do elemento da matriz,
- $a_{ij}$  é o valor apresenta na linha i e coluna j e
- n é o número de critérios analisados (ordem da matriz).

Tabela 12 - Normalização da matriz de comparação pareada entre as variáveis de interesse ambiental para o município de Lagoa Dourada (MG).

Variáveis	APP	ADMCE	APPC	APPCB	AP	CMA	CE	AIPC	TQER	RB	SR	TI	VNRH
APP	0,143	0,143	0,120	0,243	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111
ADMCE	0,143	0,143	0,120	0,243	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111
APPC	0,048	0,048	0,040	0,081	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037
APPCB	0,048	0,048	0,040	0,081	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111
AP	0,143	0,143	0,120	0,081	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111
CMA	0,048	0,048	0,120	0,027	0,043	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111
CE	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037
AIPC	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037
TQER	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037
RB	0,048	0,048	0,120	0,027	0,043	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111
SR	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037
TI	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037
VNRH	0,143	0,143	0,120	0,081	0,130	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: O autor (2023).

Definição: Área de Preservação Permanente (APP), Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial (ADMCE), Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC), Áreas prioritárias para conservação (APPC), Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (APPCB), Áreas Protegidas IEF/ICMBio (AP), que inclui os arquivos das Áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Especial, Unidades de Conservação Federais, Unidades de Conservação Municipais, Reserva Particular do Patrimônio Natural e Unidades de Conservação Estaduais, Cobertura da Mata Atlântica 2019 (CMA), Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH (CE), que inclui os arquivos do Corredor ecológico Sossego-Caratinga e Corredor ecológico Serra do Curral-Espinhaço, Reserva da Biosfera (RB), que inclui as camadas Reserva da Biosfera da Caatinga, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Sítios Ramsar (SR), Terras indígenas FUNAI (TI), Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA (TQER) e Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH).

Tabela 13 - Normalização da matriz de comparação pareada entre as variáveis construtivas para o município de Lagoa Dourada (MG).

Variáveis	APPR	DECL	ES	MS	QA	VS
APPR	0,326	0,341	0,225	0,227	0,381	0,326
DECL	0,326	0,341	0,375	0,227	0,381	0,326
ES	0,109	0,068	0,075	0,136	0,042	0,065
MS	0,065	0,068	0,025	0,045	0,025	0,022
QA	0,109	0,114	0,225	0,227	0,127	0,196
VS	0,065	0,068	0,075	0,136	0,042	0,065
Soma	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: O autor (2023).

Definição: Áreas prioritárias para recuperação (APPR), Declividade (DECL), Exposição do solo (ES), Mapa de solos (MS), Qualidade ambiental (QA) e Vulnerabilidade do solo (VS).

Em seguida, foram calculadas as componentes do vetor prioridade local (PML) de acordo com a Equação 2, as Tabela 14 e 15 apresentam os valores das componentes do PML.

$$PML_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^*}{n} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- $PML_i$  é o componente do vetor prioridade local para a linha  $i$  e
- $a_{ij}$  é o valor apresenta na linha  $i$  e coluna  $j$ .

Tabela 14 - Valores das componentes do vetor prioridade média local (PML) para variáveis construtivas para o município de Lagoa Dourada (MG).

Variáveis	APPR	DECL	ES	MS	QA	VS	PML
APPR	0,326	0,341	0,225	0,227	0,381	0,326	0,304
DECL	0,326	0,341	0,375	0,227	0,381	0,326	0,329
ES	0,109	0,068	0,075	0,136	0,042	0,065	0,083
MS	0,065	0,068	0,025	0,045	0,025	0,022	0,042
QA	0,109	0,114	0,225	0,227	0,127	0,196	0,166
VS	0,065	0,068	0,075	0,136	0,042	0,065	0,075
Soma	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,00

Fonte: O autor (2023).

Definição: Áreas prioritárias para recuperação (APPR), Declividade (DECL), Exposição do solo (ES), Mapa de solos (MS), Qualidade ambiental (QA) e Vulnerabilidade do solo (VS).

Tabela 15 - Valores das componentes do vetor prioridade média local (PML) para variáveis de relevância ambiental para o município de Lagoa Dourada (MG).

Variáveis	APP	ADMCE	APPC	APPCB	AP	CMA	CE	AIPC	TQER	RB	SR	TI	VNRH	PML
APP	0,143	0,143	0,120	0,243	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111	0,138
ADMCE	0,143	0,143	0,120	0,243	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111	0,138
APPC	0,048	0,048	0,040	0,081	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,040
APPCB	0,048	0,048	0,040	0,081	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111	0,105
AP	0,143	0,143	0,120	0,081	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111	0,126
CMA	0,048	0,048	0,120	0,027	0,043	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111	0,082
CE	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,036
AIPC	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,036
TQER	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,036
RB	0,048	0,048	0,120	0,027	0,043	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111	0,082
SR	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,036
TI	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,036
VNRH	0,143	0,143	0,120	0,081	0,130	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111	0,108
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: O autor (2023).

Definição: Área de Preservação Permanente (APP), Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial (ADMCE), Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC), Áreas prioritárias para conservação (APPC), Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (APPCB), Áreas Protegidas IEF/ICMBio (AP), que inclui os arquivos das Áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Especial, Unidades de Conservação Federais, Unidades de Conservação Municipais, Reserva Particular do Patrimônio Natural e Unidades de Conservação Estaduais, Cobertura da Mata Atlântica 2019 (CMA), Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH (CE), que inclui os arquivos do Corredor ecológico Sossego-Caratinga e Corredor ecológico Serra do Curral-Espinhaço, Reserva da Biosfera (RB), que inclui as camadas Reserva da Biosfera da Caatinga, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Sítios Ramsar (SR), Terras indígenas FUNAI (TI), Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA (TQER) e Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH).

Após cálculo do vetor de prioridades deve ser realizada a avaliação da consistência dos dados, que consiste em obter os componentes do vetor  $v_1$  que é equivalente a multiplicar as matrizes de comparação par a par geradas pelo autovetor, de acordo com a Equação 3 e resultados nas Tabelas 16 e 17.

$$v_{1i} = \sum_{j=1}^n a_{ij}^* * PML_j \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

- $v_{1i}$  é o vetor equivalente a multiplicar a matriz pelo autovetor e
- $PML_j$  é o componente do vetor prioridade local para a coluna  $j$ .

Tabela 16 - Cálculo das componentes do vetor  $v_1$  para as variáveis construtivas para o município de Lagoa Dourada (MG).

Variáveis	APPR	DECL	ES	MS	QA	VS	$v_1$
APPR	0,304	0,329	0,248	0,209	0,499	0,377	1,967
DECL	0,304	0,329	0,413	0,209	0,499	0,377	2,132
ES	0,101	0,066	0,083	0,126	0,055	0,075	0,506
MS	0,061	0,066	0,028	0,042	0,033	0,025	0,255
QA	0,101	0,110	0,248	0,209	0,166	0,226	1,061
VS	0,061	0,066	0,083	0,126	0,055	0,075	0,466
Soma	-	-	-	-	-	-	6,386

Fonte: O autor (2023).

Definição: Áreas prioritárias para recuperação (APPR), Declividade (DECL), Exposição do solo (ES), Mapa de solos (MS), Qualidade ambiental (QA) e Vulnerabilidade do solo (VS).

Tabela 17 - Cálculo das componentes do vetor v1 para as variáveis de relevância ambiental para o município de Lagoa Dourada (MG).

Variáveis	APP	ADMCE	APPC	APPCB	AP	CMA	CE	AIPC	TQER	RB	SR	TI	VNRH	v1
APP	0,143	0,143	0,120	0,243	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111	1,979
ADMCE	0,143	0,143	0,120	0,243	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111	1,979
APPC	0,048	0,048	0,040	0,081	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,550
APPCB	0,048	0,048	0,040	0,081	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111	1,504
AP	0,143	0,143	0,120	0,081	0,130	0,176	0,111	0,111	0,111	0,176	0,111	0,111	0,111	1,769
CMA	0,048	0,048	0,120	0,027	0,043	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111	1,101
CE	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,480
AIPC	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,480
TQER	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,480
RB	0,048	0,048	0,120	0,027	0,043	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111	1,101
SR	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,480
TI	0,048	0,048	0,040	0,027	0,043	0,020	0,037	0,037	0,037	0,020	0,037	0,037	0,037	0,480
VNRH	0,143	0,143	0,120	0,081	0,130	0,059	0,111	0,111	0,111	0,059	0,111	0,111	0,111	1,440
SOMA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,822

Fonte: O autor (2023).

Definição: Área de Preservação Permanente (APP), Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial (ADMCE), Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC), Áreas prioritárias para conservação (APPC), Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (APPCB), Áreas Protegidas IEF/ICMBio (AP), que inclui os arquivos das Áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Especial, Unidades de Conservação Federais, Unidades de Conservação Municipais, Reserva Particular do Patrimônio Natural e Unidades de Conservação Estaduais, Cobertura da Mata Atlântica 2019 (CMA), Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH (CE), que inclui os arquivos do Corredor ecológico Sossego-Caratinga e Corredor ecológico Serra do Curral-Espinhaço, Reserva da Biosfera (RB), que inclui as camadas Reserva da Biosfera da Caatinga, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Sítios Ramsar (SR), Terras indígenas FUNAI (TI), Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA (TQER) e Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH).

Após obter as componentes do vetor  $v_1$ , calcula-se as componentes do vetor  $v_2$ , que consiste em dividir o vetor  $v_1$  pelo valor de prioridade correspondente ao critério, a Equação 4 apresenta o procedimento matemático e Tabelas 18 e 19 demonstram os resultados.

$$v_2(i) = \frac{v_{1i}}{PML_i} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- $v_{2i}$  é o vetor equivalente da divisão de  $v_{1i}$  pelo  $PML_i$  correspondente e
- $PML_i$  é o componente do vetor prioridade local para a linha  $i$ .

Tabela 18 - Valores das componentes do vetor  $v_2$  para as variáveis de relevância ambiental para o município de Lagoa Dourada (MG).

$v_1$	Prioridades (PML)	$v_2$
1,979	0,138	14,301
1,979	0,138	14,301
0,550	0,040	13,715
1,504	0,105	14,311
1,769	0,126	14,048
1,101	0,082	13,376
0,480	0,036	13,353
0,480	0,036	13,353
0,480	0,036	13,353
1,101	0,082	13,376
0,480	0,036	13,353
0,480	0,036	13,353
1,440	0,108	13,353

Fonte: O autor (2023).

Tabela 19 - Valores das componentes do vetor v2 para as variáveis construtivas para o município de Lagoa Dourada (MG).

v1	Prioridades (PML)	v2
1,967	0,304	6,460
2,132	0,329	6,471
0,506	0,083	6,127
0,255	0,042	6,084
1,061	0,166	6,382
0,466	0,075	6,177

Fonte: O autor (2023).

Com os valores de v1, PML e v2 calculados, é necessário obter o autovalor principal da matriz ( $\lambda_{max}$ ), calculado por meio da média aritmética realizada entre os números dos componentes do vetor v2 seguindo a Equação 5. O autovalor principal da matriz com as variáveis construtivas ( $\lambda_{max}$ ) foi de 6,28 e para da matriz com as variáveis de relevância ambiental ( $\lambda_{max}$ ) foi de 13,66.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n v2(i)}{n} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

- $\lambda_{max}$  é o máximo autovalor.
- $v2_i$  é o vetor equivalente da divisão de  $v1_i$  pelo  $PML_i$  correspondente e
- $n$  é o número de critérios analisados (ordem da matriz).

Posteriormente é calculada a Razão de Consistência (RC) e para que haja aceitabilidade dos valores dos pesos obtidos para os critérios é necessário que o valor da RC seja valor menor que 0,10, ou seja, inferior a 10 % (SAATY,1987), conforme Equação 6.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

- RC é a Razão de Consistência;
- IC é o Índice de Consistência e
- IR é o Índice Randômico.

O Índice de Consistência (IC) é obtido em função do autovalor das matrizes e número de critérios avaliados (n), conforme Equação 7 (SAATY,1987). Para a matriz com as variáveis construtivas o IC foi de 0,06 enquanto que para a matriz com as variáveis de relevância ambiental foi de 0,05.

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- IC é o Índice de Consistência;
- n é o número de critérios/fatores estudados e
- $\lambda_{max}$  é o máximo autovalor.

O valor de IR varia em função da quantidade de parâmetros estipulados na matriz de comparação par a par, conforme Tabela 20.

Tabela 20 - Valores de IR para matrizes de ordem n.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Fonte: Saaty (1987) e Saaty (2008).

De posse dos valores de IC e IR, foi aplicada a Equação 6 e obtidos os valores de 0,035 (3,5%) de razão consistência para os pesos das variáveis de relevância ambiental e 0,046 (4,60%) de razão consistência para os pesos das variáveis de interesse construtivo, o que confere aceitabilidade dos valores dos pesos obtidos pela metodologia adotada (valor menor que 0,10, ou seja, inferior a 10% (SAATY,1987).

Por fim, como as variáveis foram avaliadas de forma independente, os pesos adotados para as variáveis construtivas foram de 0,304 (30,4%) para APPR, 0,329 (32,9%) para DECL, 0,083 (8,3%) para ES, 0,042 (4,2%) para MS, 0,166 (16,6%) para QA e 0,075 (7,5%) para VS, totalizando 1 (100%).

Para as variáveis de relevância ambiental os pesos adotados para as variáveis construtivas foram de 0,138 (13,8%) para APP, 0,138 (13,8%) para ADMCE, 0,040 (4,0%) para APPC, 0,105 (10,5%) para APPCB, 0,126 (12,6%) para AP, 0,082 (8,2%) para CMA, 0,036 (3,6%) para CE, 0,036 (3,6%) para AIPC, 0,036 (3,6%) para TQER, 0,082 (8,2%) para

RB, 0,036 (3,6%) para SR, 0,036 (3,6%) para TI e 0,108 (10,8%) para VNRH, totalizando 1 (100%).

Os pesos apresentados acima serão utilizados na equação e geoprocessamento das camadas para obtenção da aptidão à urbanização

## 5.11 Equação proposta para cálculo da aptidão à urbanização

Após definidas as pontuações conforme as tipologias de cada variável bem como o respectivo peso da mesma em comparação com as demais de cada categoria, foi proposta a seguinte Equação 8 para delimitar as áreas aptas a urbanização.

$$APTD = FSNE$$

$$\begin{aligned} & * (APPR * P1 + DECL * P2 + ES * P3 + MS * P4 + QA \\ & * P5 + VS * P6) * (APP * P7 + ADMCE * P8 + APPC \\ & * P9 + APPCB * P10 + AP * P11 + CMA * P12 + CE \\ & * P13 + AIPC * P14 + TQER * P15 + RB * P16 + SR \\ & * P17 + TI * P18 + VNRH * P19) \end{aligned}$$

Equação 8

Onde:

- APTD é aptidão para urbanização e expansão urbana;
- FSNE é Faixas de servidão e faixa não edificável;
- APPR são as Áreas Prioritárias para Recuperação;
- DECL é a Declividade;
- ES é Exposição do solo;
- MS é Mapa de solos;
- QA é Qualidade ambiental;
- VS é Vulnerabilidade do solo;
- ADMCE é Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial;
- AIPC é Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades;
- APPC é Áreas prioritárias para conservação;
- APPCB é Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade;
- APPR é Áreas prioritárias para recuperação;

- AP é Áreas Protegidas IEF/ICMBio, que inclui os arquivos das Áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Especial, Unidades de Conservação Federais, Unidades de Conservação Municipais, Reserva Particular do Patrimônio Natural e Unidades de Conservação Estaduais,
- CMA é Cobertura da Mata Atlântica 2019;
- CE é Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH, que inclui os arquivos do Corredor ecológico Sossego-Caratinga e Corredor ecológico Serra do Curral-Espinhaço, faixas de servidão e faixa não edificável das rodovias (FSNE);
- RB é Reserva da Biosfera (RB), que inclui as camadas Reserva da Biosfera da Caatinga, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço;
- SR é Sítios Ramsar (SR);
- TI é Terras indígenas FUNAI;
- TQER é Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA e
- VNRH é a Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos.
- P1 é o peso da variável APPR;
- P2 é o peso da variável DECL;
- P3 é o peso da variável ES;
- P4 é o peso da variável MS;
- P5 é o peso da variável QA;
- P6 é o peso da variável VS;
- P7 é o peso da variável APP;
- P8 é o peso da variável ADMCE;
- P9 é o peso da variável APPC;
- P10 é o peso da variável APPCB;
- P11 é o peso da variável AP;
- P12 é o peso da variável CMA;
- P13 é o peso da variável CE;
- P14 é o peso da variável AIPC;
- P15 é o peso da variável TQER;

- P16 é o peso da variável RB;
- P17 é o peso da variável SR;
- P18 é o peso da variável TI e
- P19 é o peso da variável VNRH.

É possível observar na Equação 8 que a variável FSNE faz a multiplicação com a soma entre a multiplicação das variáveis construtivas com seus respectivos pesos com a soma da multiplicação das variáveis de relevância ambiental e seus respectivos pesos. Isso foi proposto dessa maneira uma vez que as áreas que são faixas de servidão e faixa não edificável não podem ser realizadas construção (pontuação 0), o que torna essas áreas inaptas à urbanização e mesmo tendo todas as demais variáveis favoráveis, o resultado da multiplicação será zero. As áreas fora das faixas de servidão e faixa não edificável receberam pontuação 1 (aptas à urbanização), fazendo com que o resultado da Equação 8 nessa área seja em do produto das variáveis e seus respectivos pesos.

Optou-se por fazer o produto do somatório das variáveis construtivas com seus respectivos pesos pelo somatório das variáveis de relevância ambiental para que o peso das variáveis fosse avaliado entre si ao invés de serem entre todas juntas. Por exemplo, seria difícil comparar qual critério é mais importa pensando no aspecto social (necessidade de expansão urbana) e a preservação ambiental. Assim, realizando o produto entre as diferentes variáveis e pesos possibilita resultados mais coerentes com a legislação, que em muitos casos permite a intervenção ambiental para fins de utilidade pública e interesse social.

## **5.12 Geoprocessamento de camadas no QGIS**

Para gerar o arquivo com a aptidão à urbanização foi usada a Calculadora Raster do QGIS e utilizada como expressão de cálculo a Equação 8, que demonstra as camadas e pesos utilizados.

Por fim, o arquivo raster fruto do geoprocessamento das camadas passou por preenchimento de dados, utilizando ferramentas de análise de raster do QGIS, e depois convertida para vetor, no formato *Shapefile*, sistema de projeção SIRGAS 2000, Fuso 23 S, código 31983 da EPSG. Em seguida, foram mescladas as feições do arquivo *Shapefile* que demonstra a aptidão a aptidão a urbanização (APTD), utilizando os intervalos definidos na

Tabela 21, posteriormente, foi utilizada a ferramenta de processamento “Corrigir Geometrias” na camada vetorial resultante e feito o cálculo de áreas.

Tabela 21 - Classificação da aptidão para urbanização para o município de Lagoa Dourada (MG).

<b>Intervalo</b>	<b>Aptidão para urbanização</b>
0	Inapta
0 a 5	Muito Baixa
5 a 10	Baixa
10 a 15	Média
15 a 20	Alta
20 a 25	Muito Alta

Fonte: O autor (2023).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Aptidão à urbanização

Por meio da Figura 31, observa-se a área de interesse a aptidão para urbanização ou expansão urbana do município de Lagoa Dourada (MG).

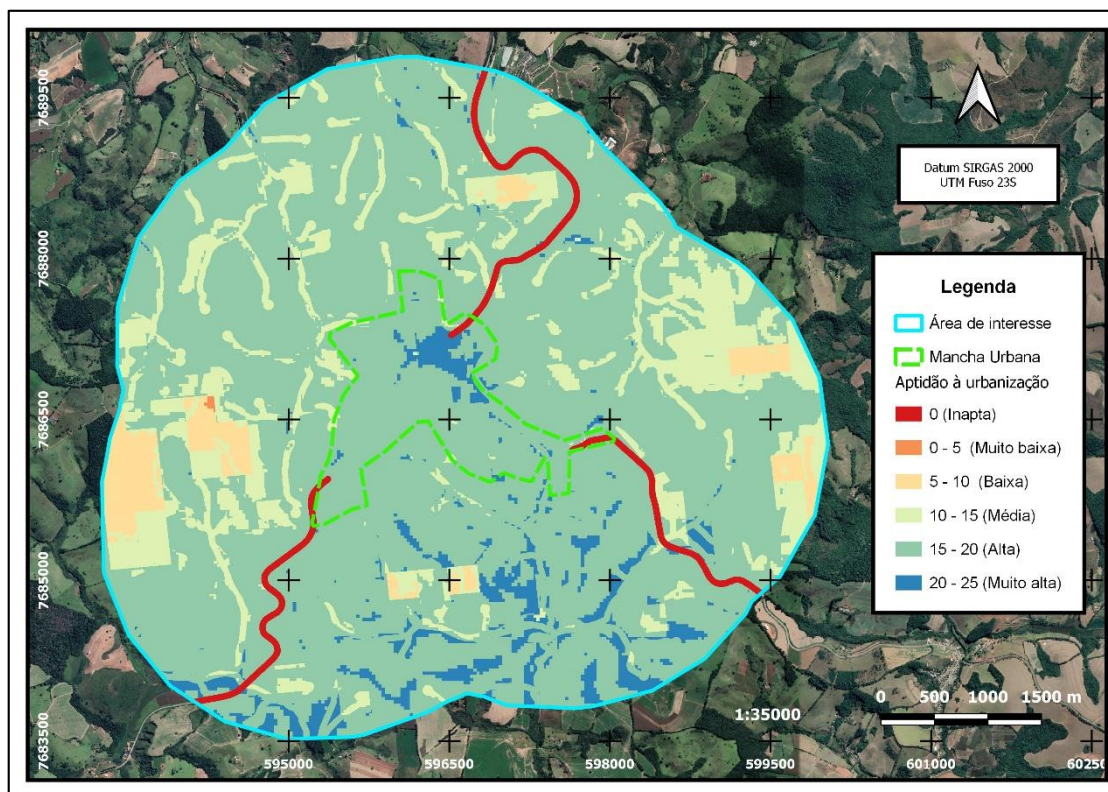


Figura 31 - Aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

A área de interesse possui 3.288,05 hectares (ha) e ocorre a maior predominância de áreas de alta aptidão urbanização, com 2.472,19 hectares, representando 75,19% da área de interesse, seguido de média aptidão com 498,59 ha, representando 15,16%, muito alta aptidão, com 146,64 ha, representando 4,46%, baixa aptidão com 112,17 ha, representando 3,41%, e por último a muito baixa aptidão à urbanização, com 0,91 hectares, representando 0,03%, conforme Tabela 22.

Tabela 22 - Cálculo de áreas e a aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).

<b>Intervalo</b>	<b>Aptidão para urbanização</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Percentual (%)</b>
0	Inapta	57,54	1,75
0 a 5	Muito Baixa	0,91	0,03
5 a 10	Baixa	112,17	3,41
10 a 15	Média	498,59	15,16
15 a 20	Alta	2472,19	75,19
20 a 25	Muito Alta	146,64	4,46
Total	-	3288,05	100,00

Fonte: O autor (2023).

A maior representatividade de áreas com alta aptidão e menor representatividade de locais com muito baixa aptidão à urbanização ou expansão urbana foi muito coerente com a situação atual real ocorrida no município. Pois, mesmo que não haja planejamento e ordenamento territorial, as áreas com as melhores condições construtivas (declividade e aspectos físicos do solo por exemplo) e menos restrições ambientais (área antropizados e com mais distância de cursos d'água por exemplo), serão as primeiras a serem escolhidas para a construção de habitações e investimentos em loteamentos.

As áreas com muito alta aptidão tiveram uma representatividade bem pequena dentro da área de interesse, somente 4,46%. A justificativa para esse resultado é que essas localidades devem ter todas as condições ótimas tanto do ponto de vista construtivo como no aspecto ambiental, o que é muito difícil de se observar na prática. A mesma explicação vale para as áreas de muito baixa aptidão, com 0,03%, só que essas regiões deveriam ter as piores condições tanto do ponto de vista construtivo como no aspecto ambiental.

Nota-se na Figura 32 que a maior parte das áreas com muito alta aptidão à urbanização estão localizadas ao sul da mancha urbana de Lagoa Dourada (MG), sendo que 23,25 ha estão situadas dentro da mancha urbana em localidades praticamente urbanizadas. Na porção norte da área de interesse a representatividade de áreas de muito alta aptidão à urbanização foi muito pequena.

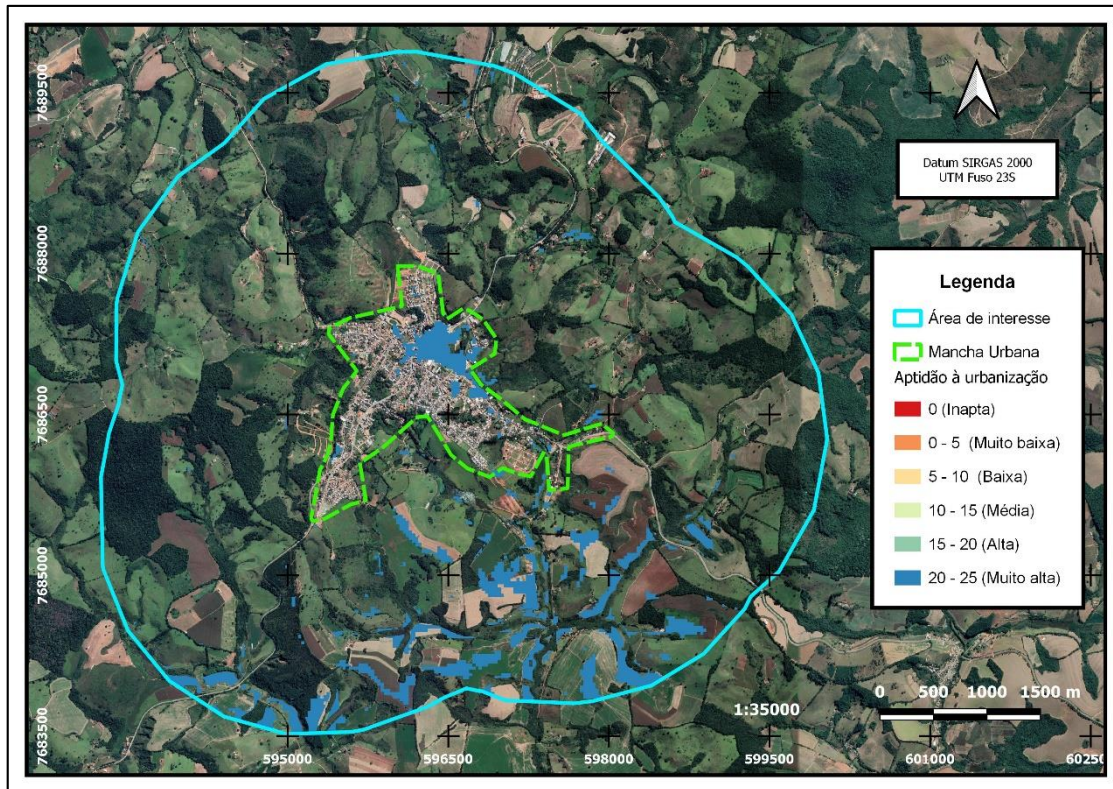


Figura 32 - Muito alta aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

As áreas de alta aptidão à urbanização e expansão urbana corresponde a 2472,19 ha da área interesse, com 75,19% de representatividade, também se estendendo em grande maioria na mancha urbana, com 224,33 ha. A regiões de alta aptidão à urbanização e expansão urbana estão bem espalhadas pela área de interesse, exceto por duas porções localizadas mais a leste e duas mais a oeste, que representam áreas com ocorrência de remanescente de vegetação nativa muito densa. Curiosamente, também se observa algumas feições bem delimitadas de APP não incluídas nessa categoria, conforme ilustrado na Figura 33.

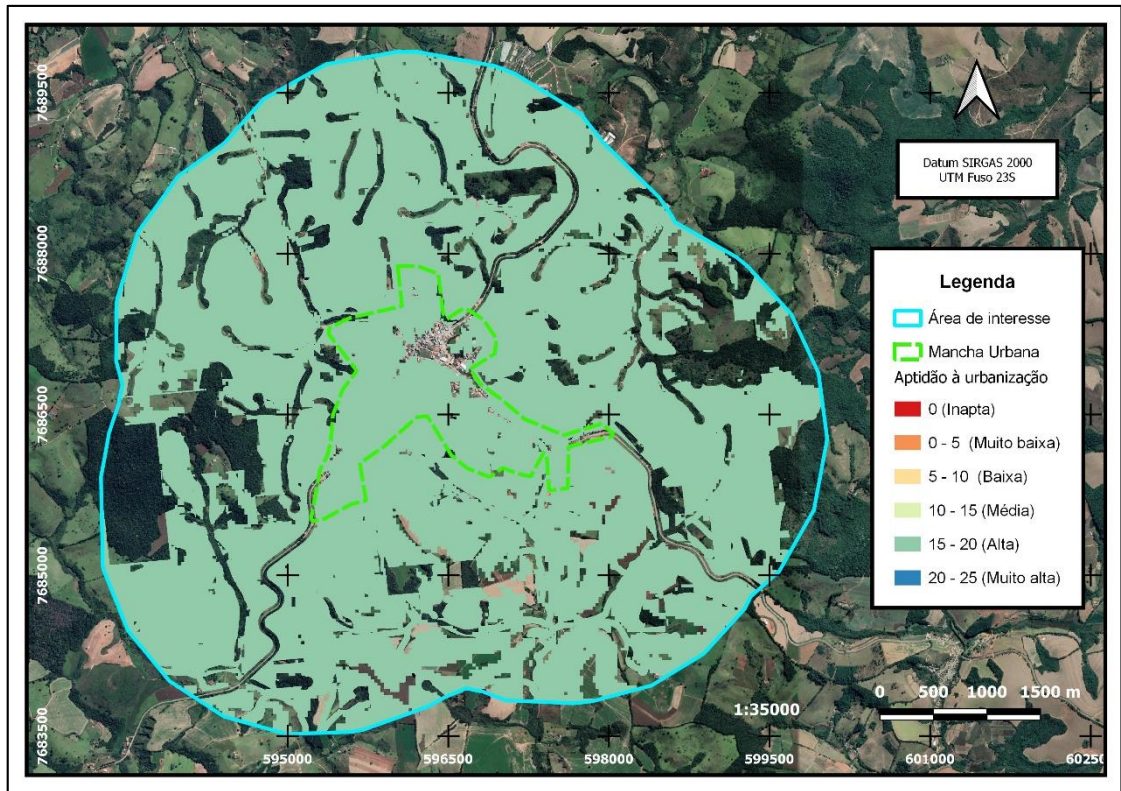


Figura 33 - Alta aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

A Figura 34 destaca as regiões com média aptidão à urbanização e expansão urbana, com 498,59 ha e 15,16% de representatividade na área de interesse. Essas regiões foram predominantes na porção norte da área de interesse, englobando principalmente algumas áreas de APP, o que demonstra que a metodologia adotada no presente estudo favoreceu a preservação dessas regiões, e pouco extensão mancha urbana, somente 3,28 ha.

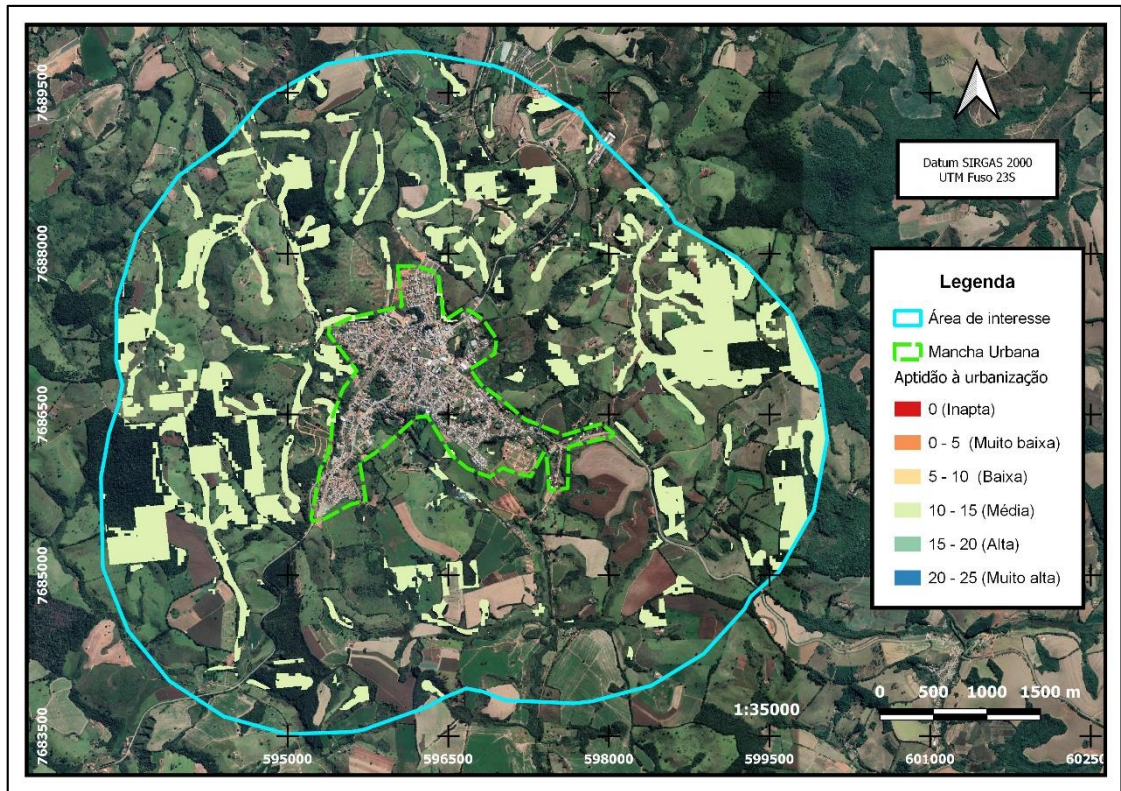


Figura 34 - Média aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

Nos locais categorizados como baixa aptidão à urbanização e expansão urbana, Figura 35, totalizando 112,17 ha e 3,41% de representatividade, nota-se que as regiões estavam fora da mancha urbana do município e situados nos principais fragmentos de vegetação nativa dentro da área de interesse. Desse modo, a metodologia proposta no presente estudo favoreceu a preservação dessas regiões, conferindo a essas regiões uma menor pontuação para urbanização.

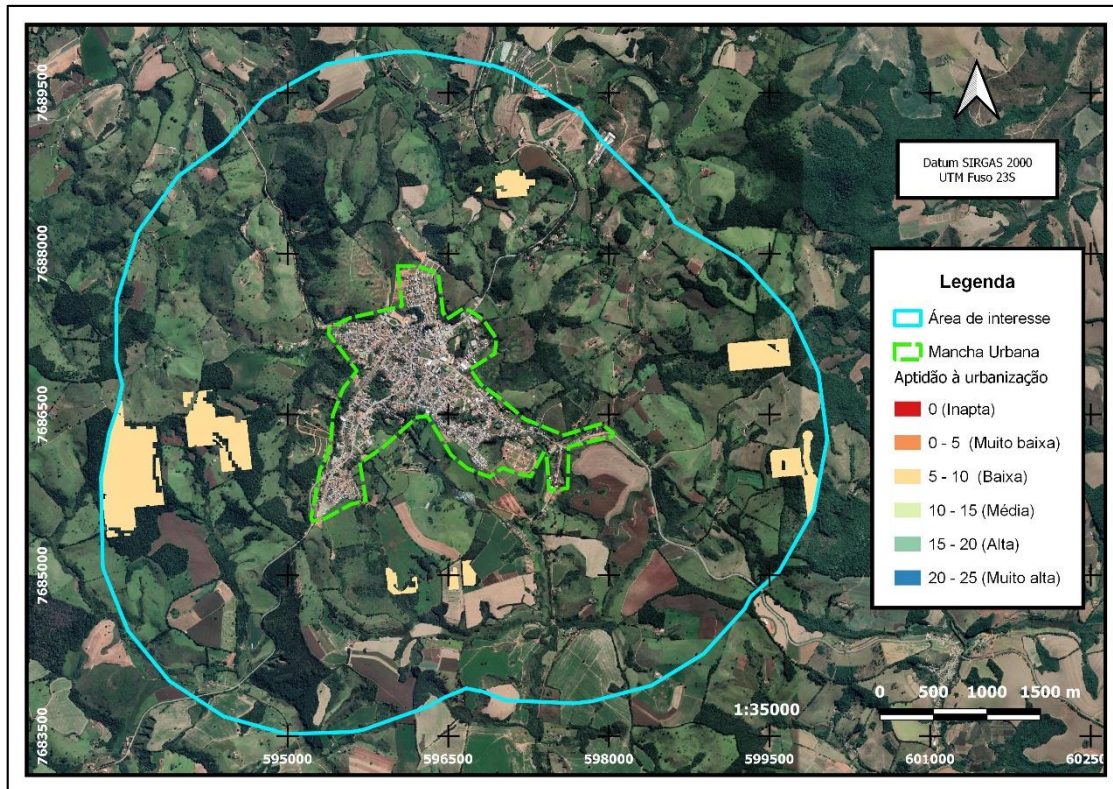


Figura 35 - Baixa aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

A região com muito baixa aptidão à urbanização e expansão urbana, 0,91 hectares e 0,03% de representatividade na área de interesse, consiste em um local fora da mancha urbana e localizado em um fragmento de vegetação nativa, conforme Figura 36. As localidades caracterizadas com inaptas à urbanização e expansão urbana serão discutidas no item seguinte.

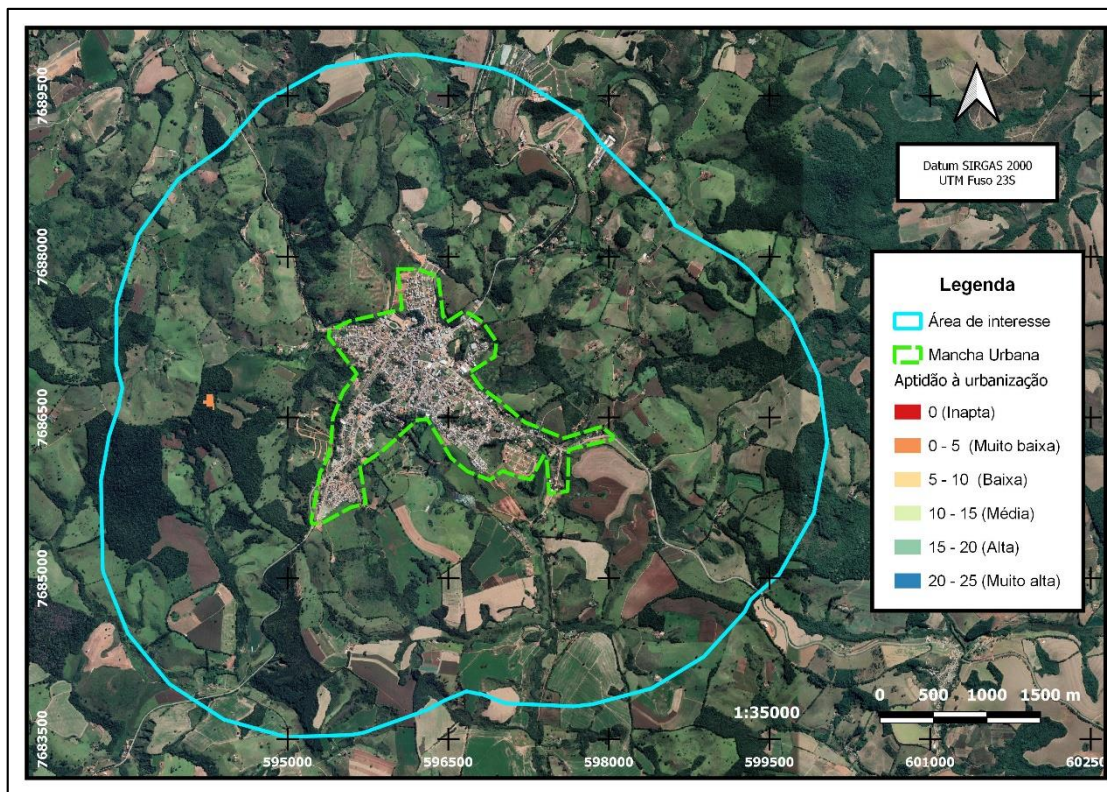


Figura 36 - Muito baixa aptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

## 6.2 Inaptidão à urbanização nas margens das rodovias

A únicas áreas que receberam a pontuação de 0, inaptas para a urbanização, foram as regiões situas nas faixas de servidão e faixa não edificável das rodovias. Isso se deve as Rodovia MGC-383, trecho acesso de Entre Rios de Minas (MG) a São João Del Rei (MG), e Rodovia MG-275, trecho Lagoa Dourada (MG) a Carandaí (MG), possuem faixas de domínio de 30 metros, ou seja, 15 metros para cada lado, contados a partir do eixo da pista de rolamento (área pertencente à rodovia) e área não edificante de 15 metros de largura e é considerada a partir do final da faixa de domínio (área particular, porém não é permitido construções), receberem a pontuação 0, o que na Equação 8 resulta no mesmo valor, mesmo que todas as outras condições sejam as mais favoráveis. A delimitação das áreas inaptas à urbanização e expansão urbana pode ser visualizada na Figura 37.

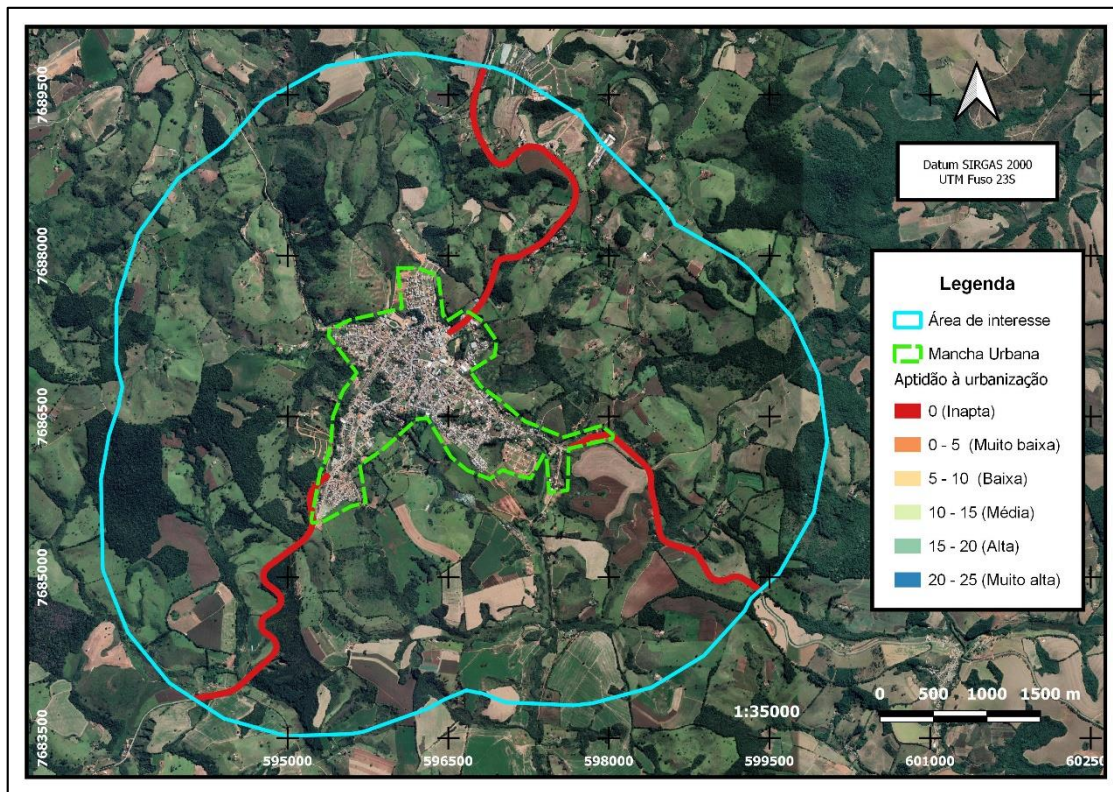


Figura 37 - Inaptidão à urbanização na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

Para que as áreas fora das faixas de servidão e faixa não edificável das rodovias fossem inaptas à urbanização ou expansão urbana seria necessário que o resultado da Equação 8 fosse 0. Para isso ocorrer todas as variáveis teriam que ter pontuação 0 em seus atributos, o que é muito difícil na prática, uma região ser totalmente inapta quando são levados em conta tantas variáveis e aspectos.

As áreas dentro da parte da parte urbanizada do município e que estão as margens das rodovias não foram consideradas inaptas porque na delimitação das rodovias não foram inseridas nessas localidades. Essas regiões já existem construções antigas e dificilmente a rodovia fará a realocação dessas pessoas, indenizações ou expansão da estrada.

### 6.3 Aptidão de variáveis ambientais

Utilizando a Equação 8 de forma separada para as variáveis de relevância ambiental, sem utilizar observar as faixas de servidão e faixa não edificável da rodovia, nota-se que a multiplicação dos pesos pela pontuação dos atributos de cada camada resultou em intervalo de

pontuação de variando de 2,57 a 4,85 (cuja limite é de 5). A Figura 38 demonstra a aptidão à urbanização avaliando as variáveis de relevância ambiental.

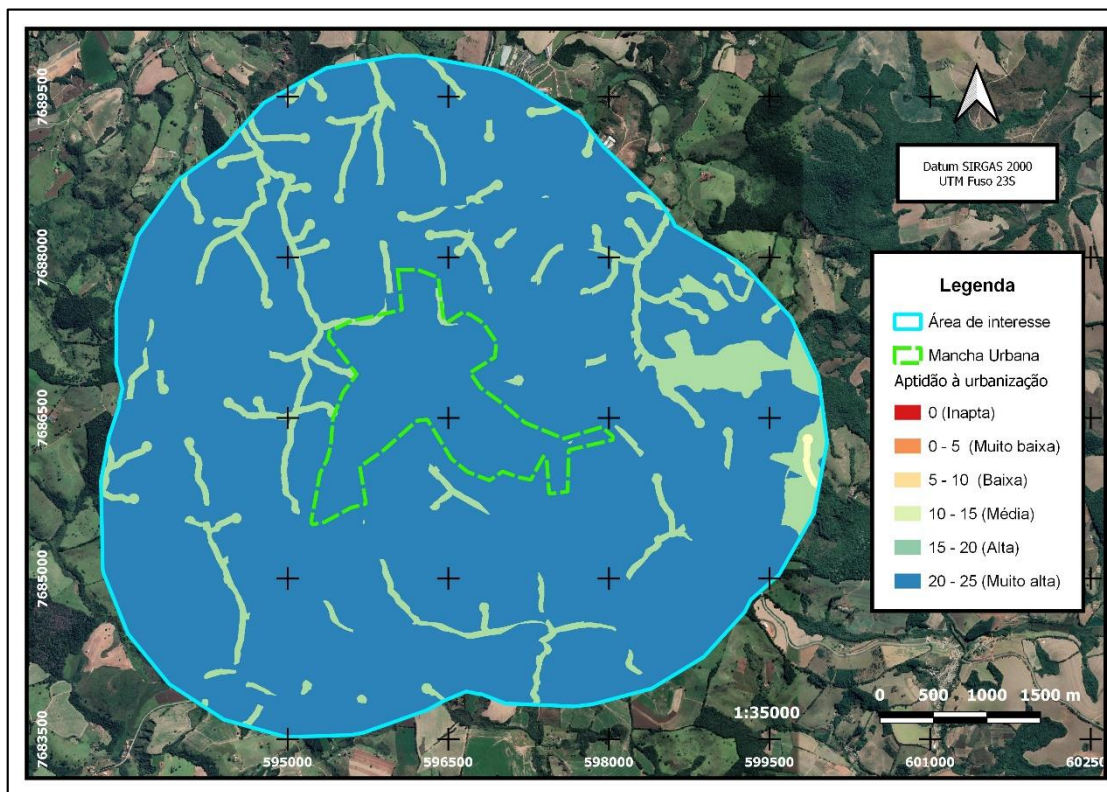


Figura 38 - Aptidão à urbanização de variáveis de relevância ambiental na área de interesse, município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

Observa-se que em se tratando de relevância ambiental, somente foram observadas áreas de média aptidão à urbanização e expansão urbana (pouca representatividade), alta aptidão (de ocorrência principalmente em APP e em remanescente de vegetação nativa) e muito alta aptidão (maior representatividade na área de interesse).

Mesmo analisando 13 variáveis de relevância ambiental, a área de interesse obteve uma predominância de áreas com muito alta aptidão a urbanização por não estar inserida em Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial (ADMCE), Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (APPCB), Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH (CE), Sítios Ramsar (SR), Terras indígenas FUNAI (TI) e Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA (TQER).

Havia somente uma pequena região de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) como Área protegidas (AP), a Cobertura da Mata Atlântica 2019 (CMA) tem uso predominante de áreas antropizadas e a Reserva da Biosfera (RB) tem apenas uma faixa de transição. A Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH) foi baixa ou muito baixa, a influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC) foi média ou baixa (pontuação 3 e 4 de 5, respectivamente) enquanto que há predominância de baixa e muito baixa prioridade para conservação (APPC) e a maioria das localidades está fora de APP.

No Anexo A é possível observar a aptidão à urbanização das variáveis ambientais analisadas separadamente.

## 6.4 Aptidão de variáveis construtivas

Por meio da Equação 8, de forma separada para as variáveis construtivas, sem utilizar observar as faixas de servidão e faixa não edificável da rodovia, nota-se que a multiplicação dos pesos pela pontuação dos atributos de cada camada resultou em intervalo de pontuação de variando de 1,17 a 4,67 (cuja limite é de 5). A Figura 39 demonstra a aptidão à urbanização avaliando as variáveis construtivas.

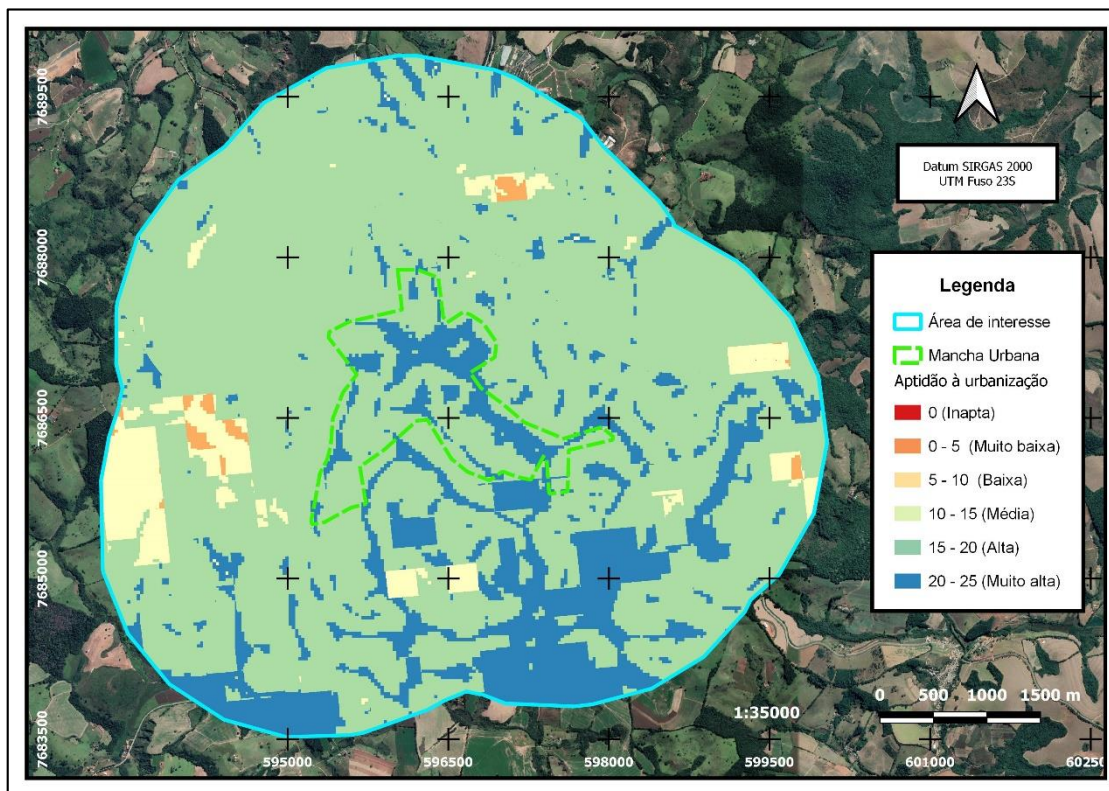


Figura 39 - Aptidão à urbanização das variáveis construtivas na área de interesse para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

A aptidão à urbanização das variáveis construtivas na área de interesse foi em sua grande maioria de locais de alta aptidão à urbanização e expansão urbana, seguido de muito alta, média e baixa aptidão, não sendo observada regiões de muito baixa aptidão.

As Áreas prioritárias para recuperação (APPR) na área de interesse foram em grande extensão de áreas classificadas como alta prioridade (ambientes antropizados, ou seja, favorece a urbanização), a Exposição do solo (ES) obteve melhor pontuação apenas na mancha urbana e no seu entorno, apenas os locais com predominância de vegetação nativa que obtiverem menores pontuações nessa variável.

No Mapa de solos (MS) foram observados predominância de Latossolos e Cambissolos, que apresentam aptidão muito alta e média à urbanização, respectivamente, a Qualidade ambiental (QA) foi em majoritariamente baixa (ambientes antropizados, ou seja, favorece a urbanização), enquanto que a Vulnerabilidade do solo (VS) foi em sua grande maioria alta e muito alta (aspectos ruins para a urbanização).

A declividade apresentou melhores resultados na mancha urbana e região sul na área de interesse, as variáveis Mapa de solos (MS) e Vulnerabilidade do solo (VS) também obtiveram melhores índices na região sul da área de interesse. O que nos leva a crer que os resultados de aptidão à urbanização serem muito altos na porção sul da área de interesse do estudo devido as variáveis ambientais serem predominantemente favoráveis e as variáveis construtivas apresentarem os melhores índices nessas localidades.

No Anexo B é possível observar a aptidão à urbanização das variáveis construtivas analisadas separadamente

## **6.5 Urbanização em áreas de risco**

### **6.5.1 Risco de alagamento muito alto**

Os intervalos para categorizar o risco de alagamento foram tomados como base os estudos desenvolvidos por Andrade e Lupinacci (2021), Biase (1992) e Ross (1994), pois os locais com declividade de 0 a 2% existe alta possibilidade de alagamento, de 2 a 5% é o limite urbano-industrial, 12% é o limite para os padrões mais comuns de mecanização agrícola no Brasil e acima de 20% é considerada como risco forte para processos erosivos e deslizamentos/escorregamentos de solo (muito improvável de ocorrer alagamento).

Na área de interesse a declividade variou entre 0,96 e 59,46%, conforme exposto na Tabela 23, as áreas de maior risco de alagamento tiveram a menor representatividade (0,06%) e nenhuma dessas localidades estão inseridas dentro das áreas classificadas como muita alta aptidão à urbanização e expansão urbana, demonstrando que a metodologia de cálculo aqui proposta restringe o uso e ocupação do solo para esse tipo de risco. Dos 65,22 ha situados em área de alto risco de alagamento apenas 27,36 ha estão situadas em locais de muito alta aptidão à urbanização, conforme Figura 40.

Tabela 23 - Classes de declividade em função do risco de alagamento para o município de Lagoa Dourada (MG).

Declividade (%)	Risco de alagamento	Área (ha)	Representatividade (%)
0 a 2	Muito Alto	2,09	0,06
2 a 5	Alto	65,22	1,98
5 a 12	Médio	581,37	17,68
12 a 20	Baixo	1194,71	36,33
Acima de 20	Muito Baixo	1444,66	43,94
Total	-	3.288,05	100,00

Fonte: O autor (2023).

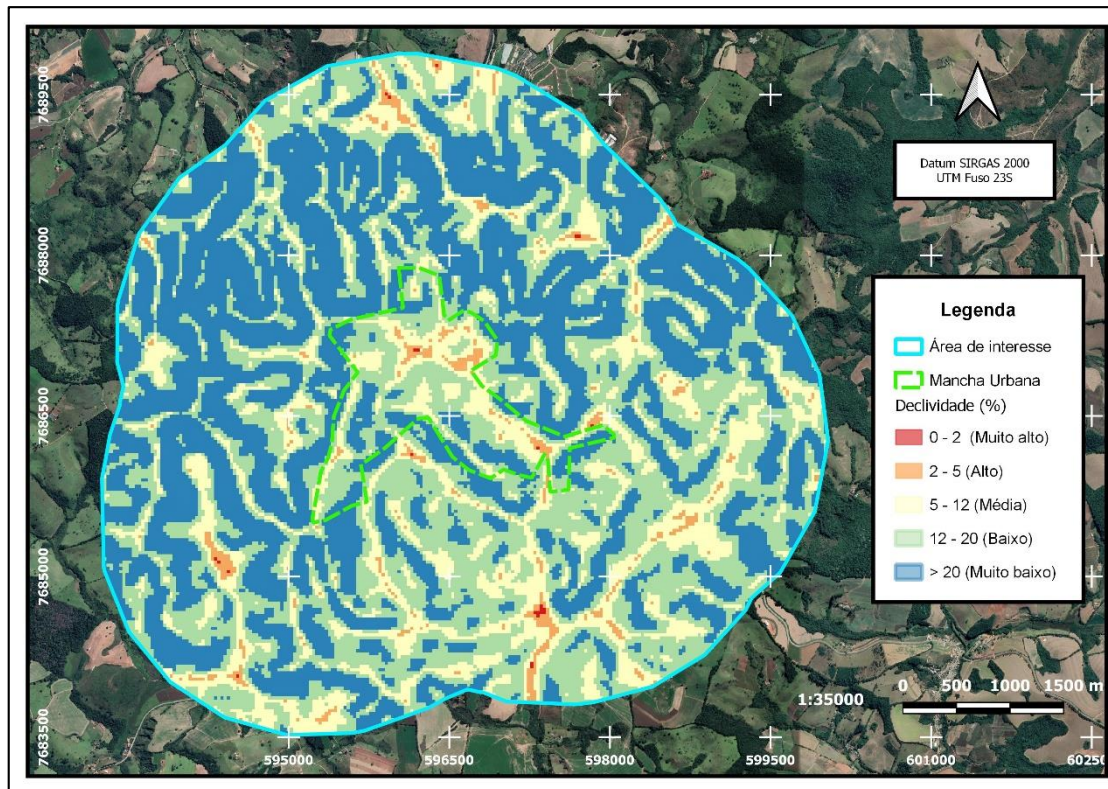


Figura 40 - Risco de alagamento em função da declividade (%) para o município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

A predominância das classes de relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado na área de interesse, com 43,96% de representatividade, seguido de ondulado, com 36,32%, somam 80,28% da área de estudo. Desse modo, a área de interesse possui características físicas que dificultam o acúmulo e favorecem o escoamento de água, por isso que a representatividade de áreas de risco de alagamento foram tão baixas, porque a presença de relevos planos ocorrem em menor proporção.

A influência do relevo na identificação de área de risco de alagamento também pode ser observada em estudo desenvolvido por Palácio et al. (2021), onde a suscetibilidade de alagamento foi elevada devido a uma tendência geral de conformações mais planas na área de estudo, em contrapartida, nos locais de acentuada declividade, ocorreram baixas susceptibilidades mesmo estando em solos de difícil drenagem.

Dentro da mancha urbana foram observados dois pontos caracterizados como de risco muito alto para alagamento, o Ponto 1 está situado à Rua Major Joaquim Resende e representa o principal problema de alagamento na cidade, cujas coordenadas estão descritas na Tabela 24. O resultado é observado com prejuízos para comerciantes locais e tráfego na região, onde é a parte central da cidade e faz parte da Rodovia BR 383, conforme Figura 41.

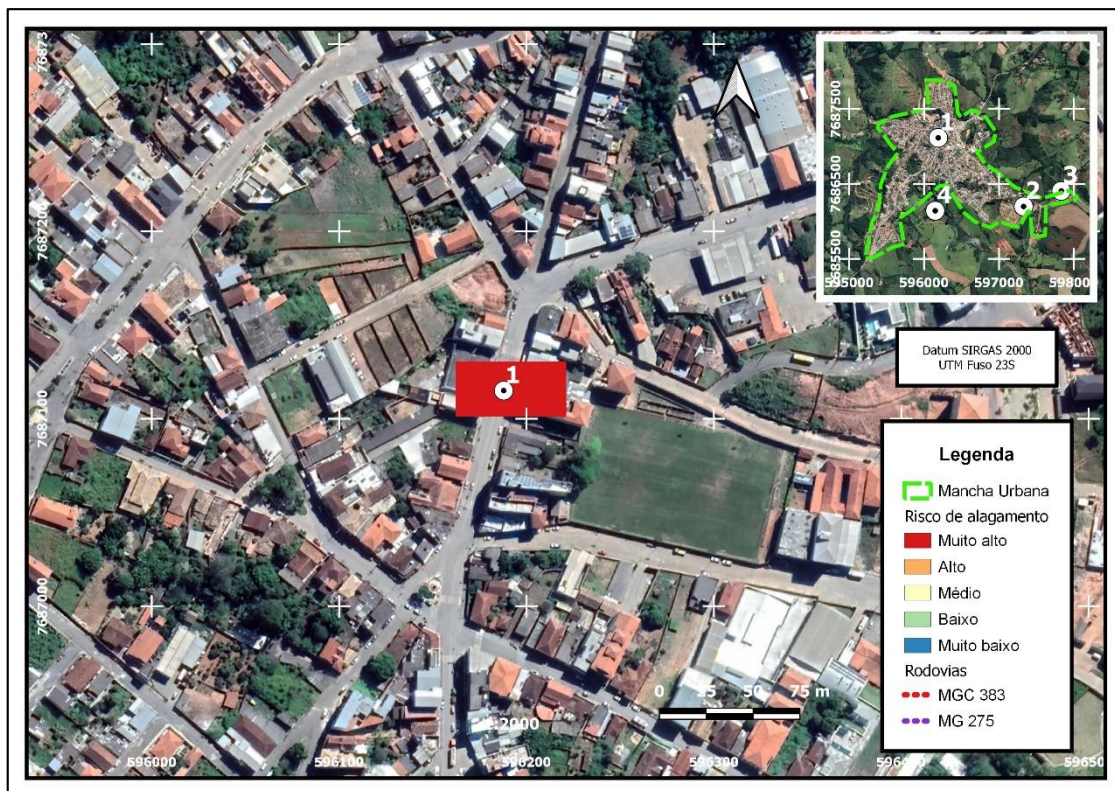


Figura 41 - Principal ponto de alagamento na cidade de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

Tabela 24 - Coordenadas UTM das regiões de muito alto risco de alagamento para o município de Lagoa Dourada (MG).

Ponto	Leste (m)	Norte (m)
1	596187,84	7687115,02
2	597327,08	7686199,29
3	597829,86	7686407,27
4	596148,05	7686142,17
5	594321,72	7685162,24
6	594435,36	7685048,6
7	594524,58	7684075,3
8	597365,81	7684683,57
9	597269,96	7684178,08
10	595908,72	7689502,91
11	596384,52	7689771,33
12	597699,04	7688182,22

Fonte: O autor (2023).

A adversidade causada pela precipitação intensa nessa região é frequente e sua ocorrência é problema constante para os estabelecimentos e residentes da região. Na Figura 42 é possível observar uma situação registrada no dia 26 de novembro de 2022 por uma moradora local e as medidas de contenção adotadas pelos moradores e proprietários de estabelecimentos para evitar prejuízos com alagamentos.



Figura 42 - Alagamento, chuva de granizo e medidas de contenção nos estabelecimentos do município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: Tuany Lima (2022), fotografia nos dias 26/11/2022 (alagamento) e 28/03/2023.

O Ponto 2 está inserido em uma área que não está urbanizada, com predominância de gramíneas e vegetação rasteira, porém está situado próximo de um loteamento com construções em andamento, curso d'água e áreas de expansão urbana. É possível observar na Figura 43 que existem locais com terraplanagem, demonstrando que há interesse para urbanização ou industrialização da área, logo o poder público deve orientar e planejar o ordenamento da área para evitar problemas no futuro bem como executar a melhoria do sistema de drenagem.

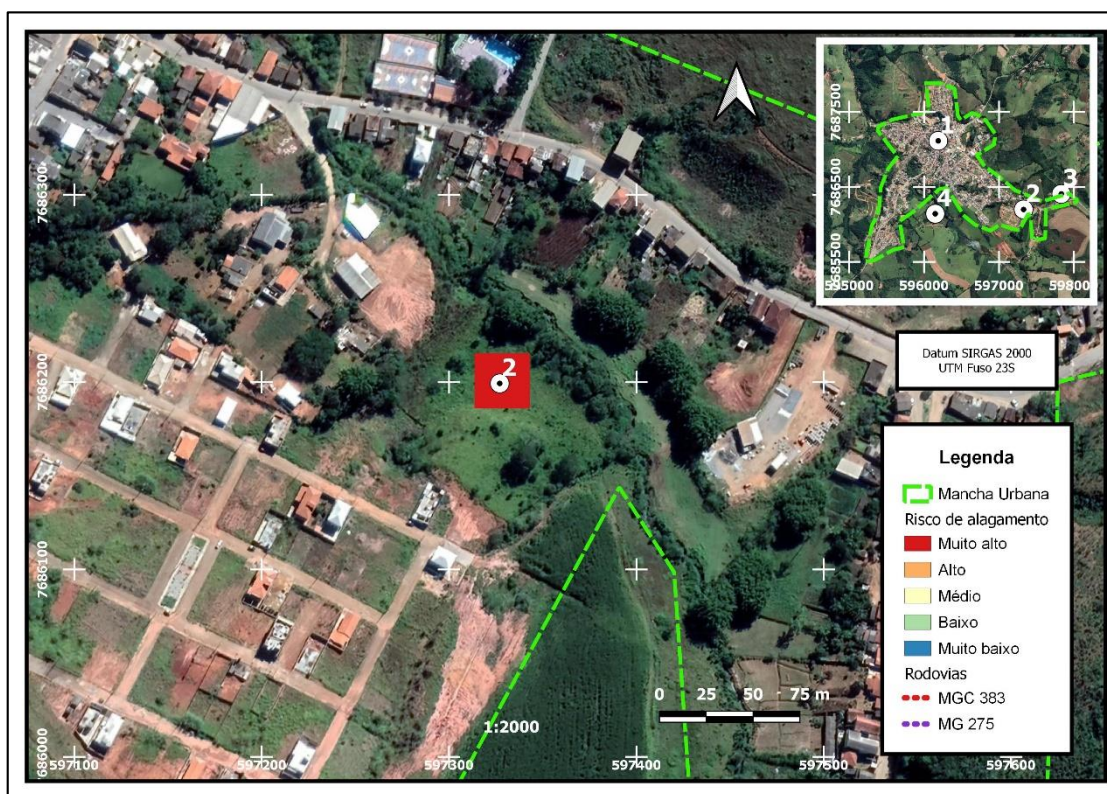


Figura 43 - Ponto 2, área de risco muito alto para alagamento do município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

O Ponto 3 está fora da mancha urbana da cidade, porém muito próximo, em local com presença de plantas cultivadas e a existência de poucas casas na região. No local é possível observar canais/drenos, o que reforça o argumento de que o local tenha problemas para a drenagem de água, fato observado na Figura 44.

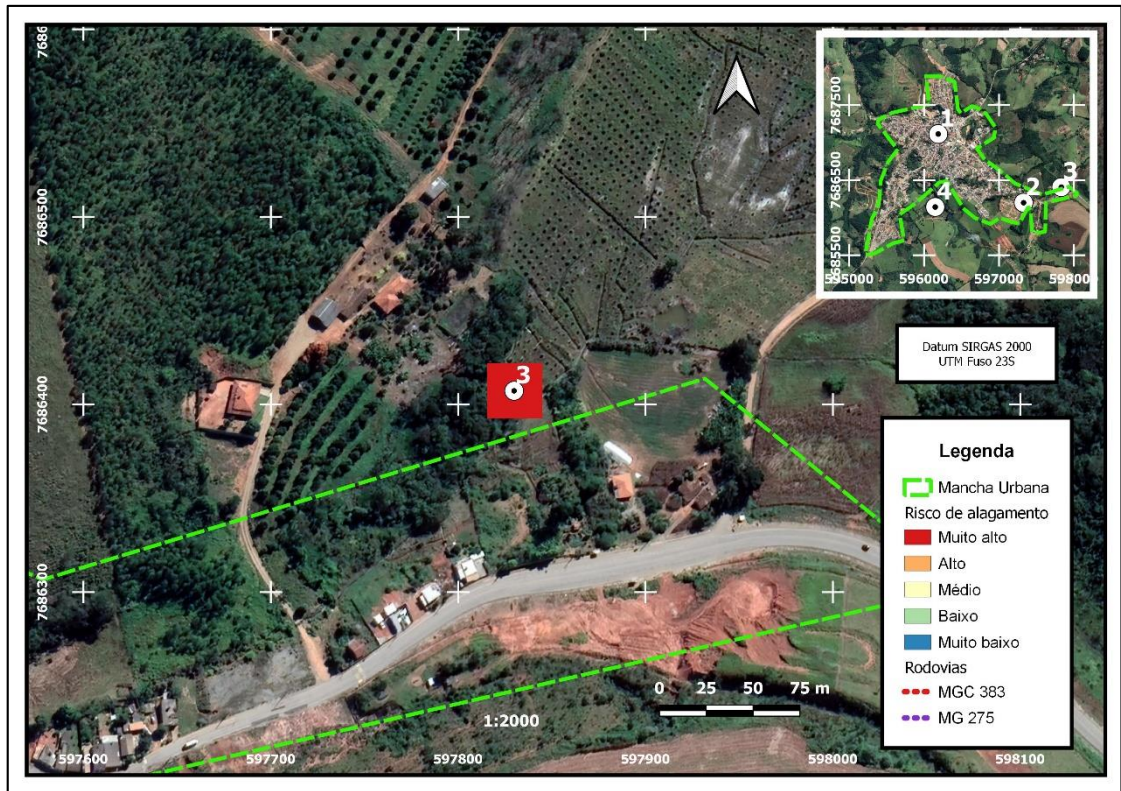


Figura 44 - Ponto 3, área de risco muito alto para alagamento do município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

O Ponto 8 está situada em área rural, próximo de um reservatório de água e estradas rurais, nesse aspecto, é importante que a área seja monitorada para evitar problemas e transtorno para o deslocamento na região. Os Pontos 9 e 12 possuem características de vegetação rasteira, aparentemente de várzea ou regiões úmidas, pois há presença de vegetação nativa de porte média a avançada nas proximidades e também áreas cultivadas (a justificativa para a área não ser cultivada pode ser a presença de umidade, indicando lençol freático elevado). Para os demais locais de risco muito alto para alagamento, os Pontos 4 e 10 estão situados em reservatórios de água, os Pontos 5, 6, 7 e 11 em local de vegetação nativa. Logo, a Figura 45 demonstra que dificilmente essas áreas serão urbanizadas, porém deve-se atentar para construções nessas proximidades.



Figura 45 - Demais áreas de risco muito alto para alagamentos no município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

### 6.5.2 Risco de alagamento alto

Dos 65,22 ha de área de risco alto para alagamento 27,36 ha estão situados em área de muito alta aptidão à urbanização e expansão urbana, 32,26 ha em locais de alta aptidão, 4,39 ha em regiões de média aptidão, 0,31 ha em regiões de baixa aptidão e 0,90 ha em regiões de muito baixa aptidão. Não foram encontradas áreas de risco alto para alagamento em regiões de baixa aptidão à urbanização e expansão urbana, conforme Figura 46.

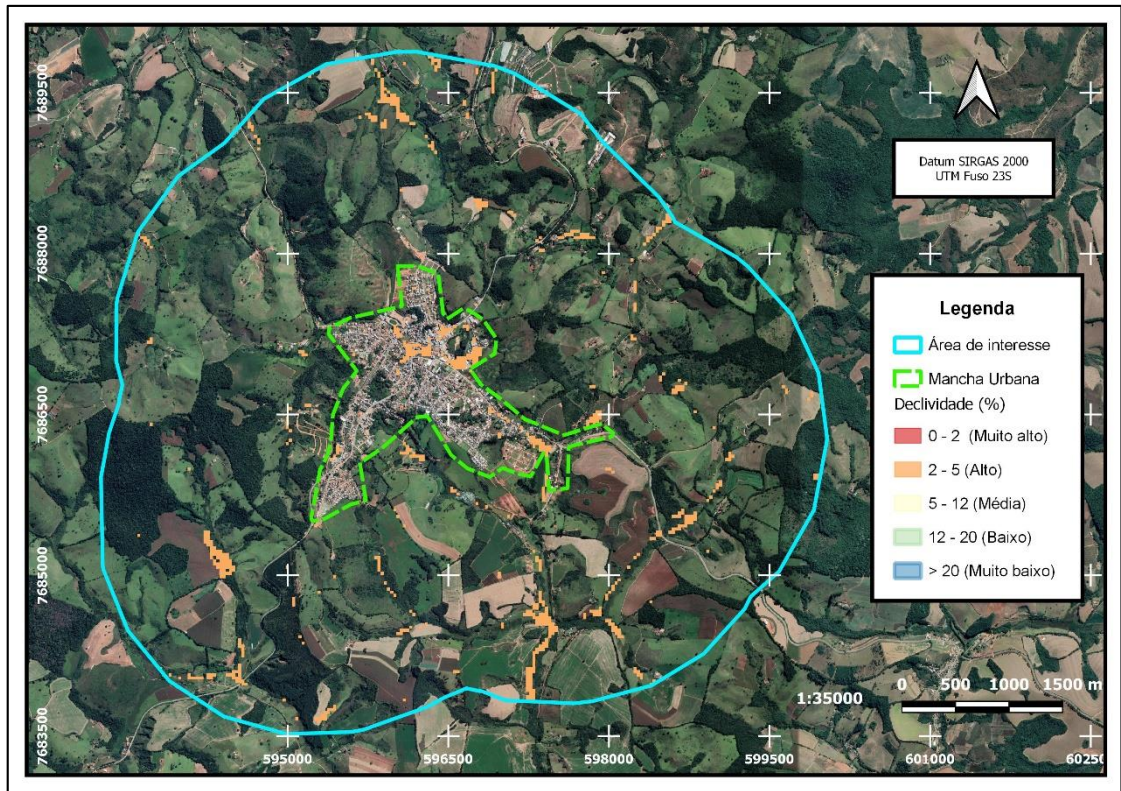


Figura 46 - Áreas de risco alto para alagamentos para o município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

Todos os pontos que estão situados em locais de muito alto risco de alagamento possuem no seu entorno regiões com alto risco de alagamento, conforme Figura 47. Essas localidades devem concentrar de forma prioritária para a adoção de medidas de prevenção e ou mitigação dessa tipologia de desastre.



Figura 47 - Áreas de risco alto para alagamentos e pontos de referência dentro do município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

Além dos pontos mencionados, existem locais que também devem ser monitorados para evitar problemas sociais, danos ambientais e prejuízos à população, conforme Tabela 25 e Figura 48.

Tabela 25 - Coordenadas UTM das regiões de alto risco de alagamento para o município de Lagoa Dourada (MG).

Ponto	Leste (m)	Norte (m)
13	596460,27	7687285,74
14	596672,11	7687319,19
15	596697,75	7687043,8
16	596706,81	7686911,82
17	596797,96	7686794,61
18	596897,6	7686525,91
19	596976,21	7686496,92
20	597047,83	7686451,65
21	597181,92	7686378,18
22	596972,31	7686306,26
23	597419,4	7685891,51
24	598451,83	7685385,32
25	595466,58	7686155,75
26	595260,87	7685464,48
27	595614,58	7687057,46
28	596030,46	7686896,35
29	596018,75	7687270,41
30	596325,36	7687207,97
31	597343,08	7688134,56

Fonte: O autor (2023).

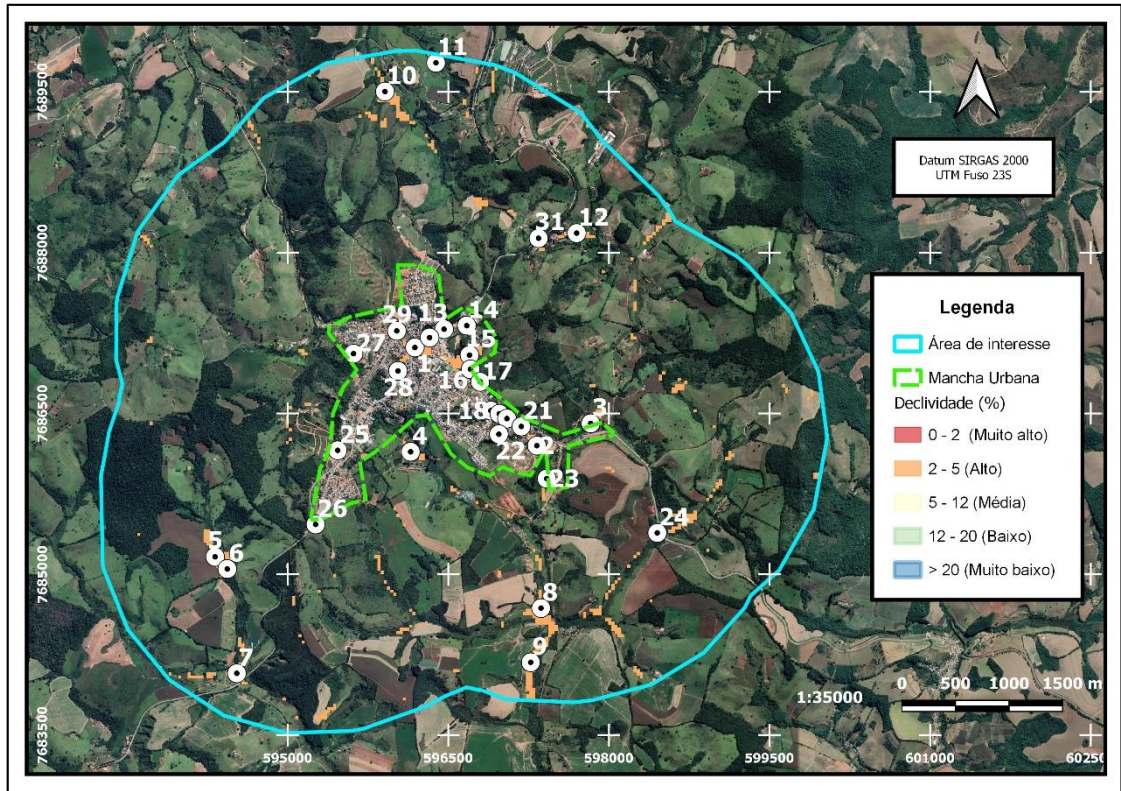


Figura 48 - Pontos de alto risco de alagamento e monitoramento dentro do município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

Nos pontos 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 28, 29, 30 estão locais situados na região central e principais ruas da cidade. Os pontos 16 e 17 situa-se em locais onde não há construções, porém serão construídos loteamentos. Os pontos 22, 25 e 27 estão em área com de maior altitude que os principais pontos de alagamento, o que não demonstra risco de alagamento, e nos leva a crer que a forma do relevo o fez se enquadrar nessa categoria enquanto que o ponto 23 está em local de onde há construções, porém próximo de residências, e 24, 26 e 31 estão as margens das rodovias. As Figuras 49, 50, 51, 52, 53 e 54 demonstram os pontos mencionados.

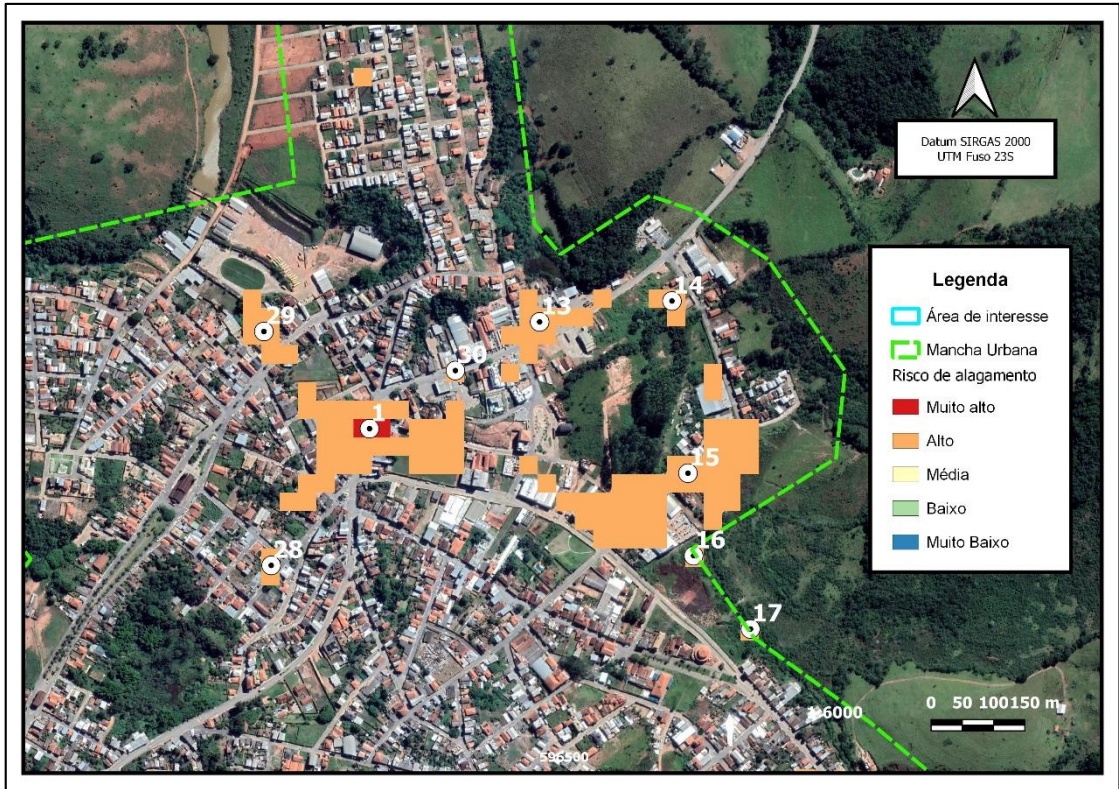


Figura 49 - Pontos 13,14, 15, 16, 17, 28, 29 e 30, representando áreas de alto risco de alagamento.  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

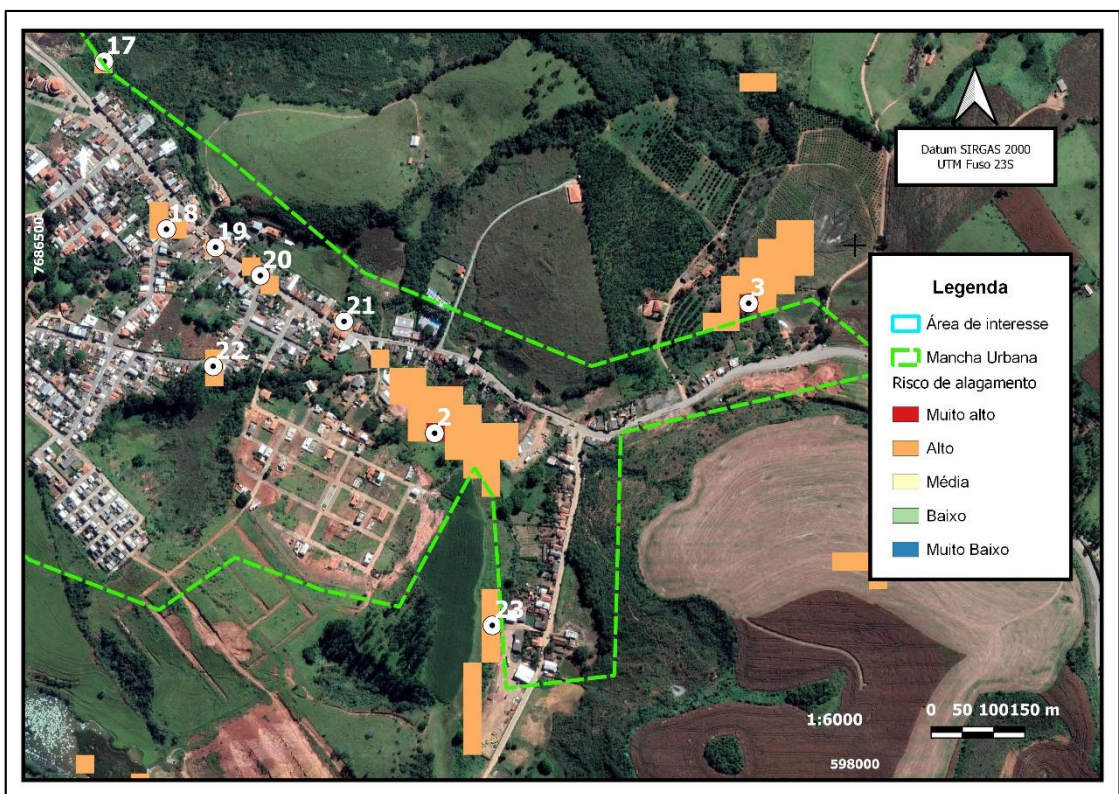


Figura 50 - Pontos 18, 19, 20, 21, 22 e 23, representando áreas de alto risco de alagamento.  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

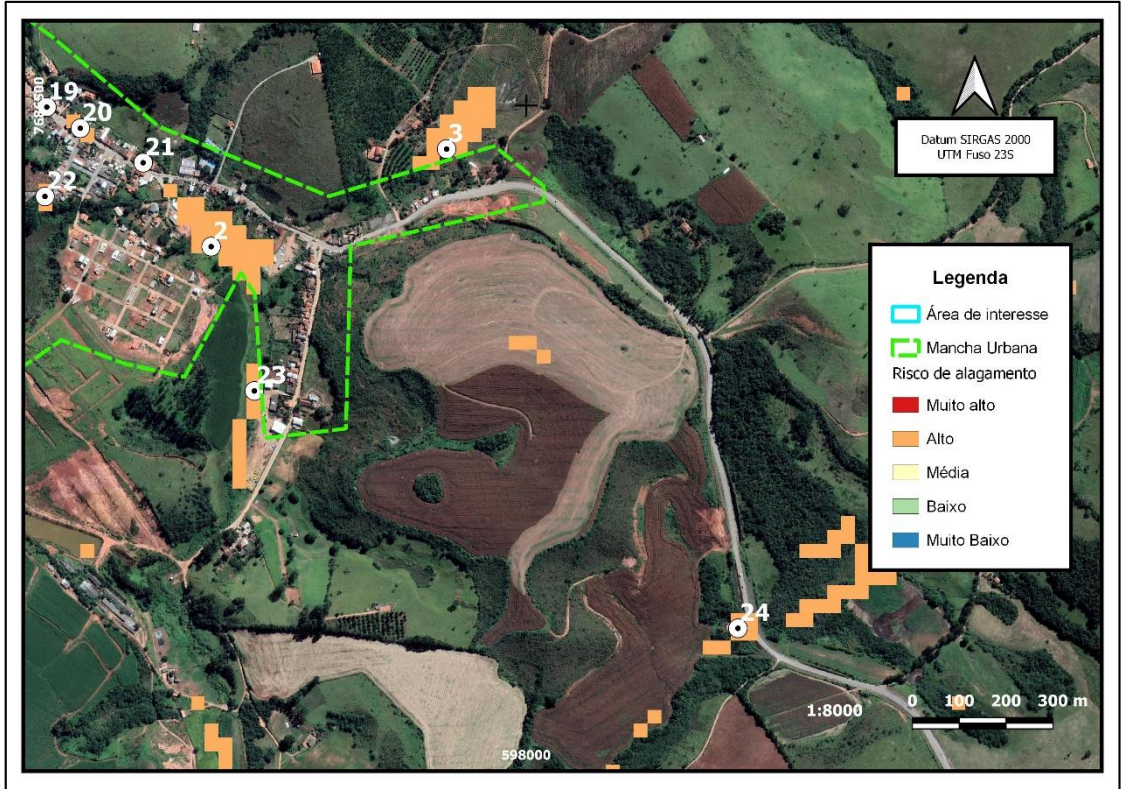


Figura 51 - Ponto 24, área de alto risco de alagamento.  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

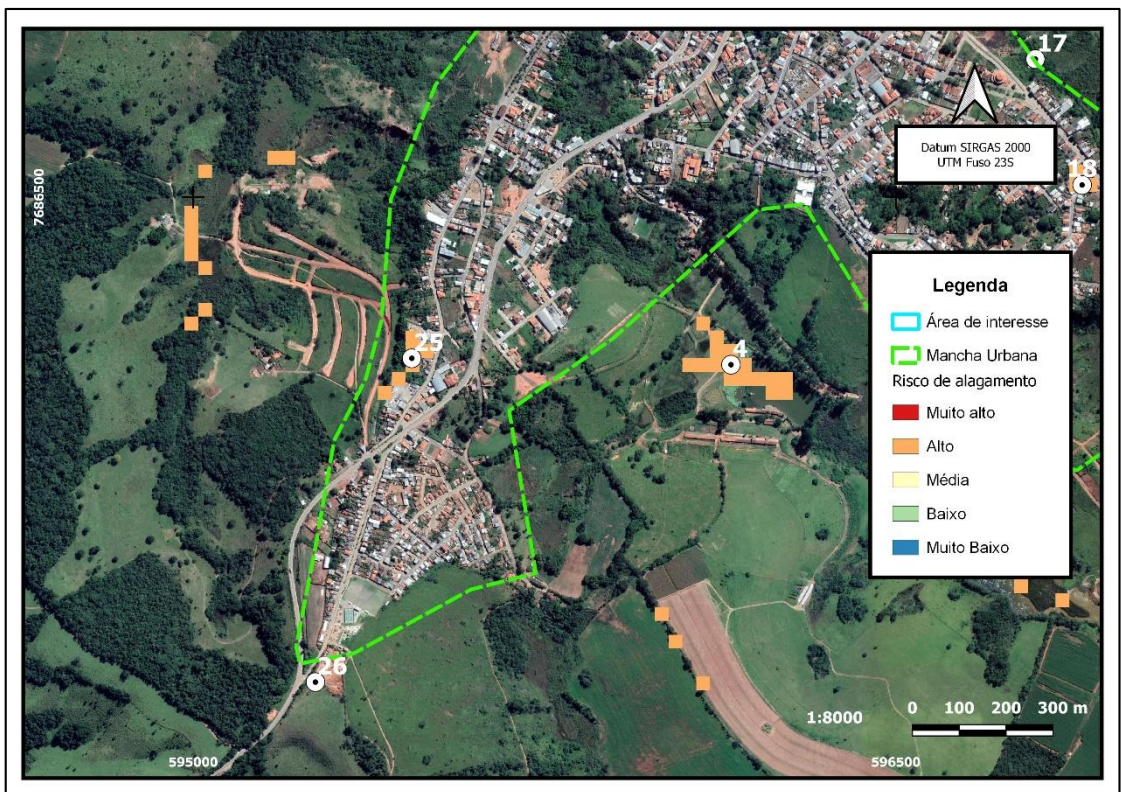


Figura 52 - Pontos 25 e 26, áreas de alto risco de alagamento.  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

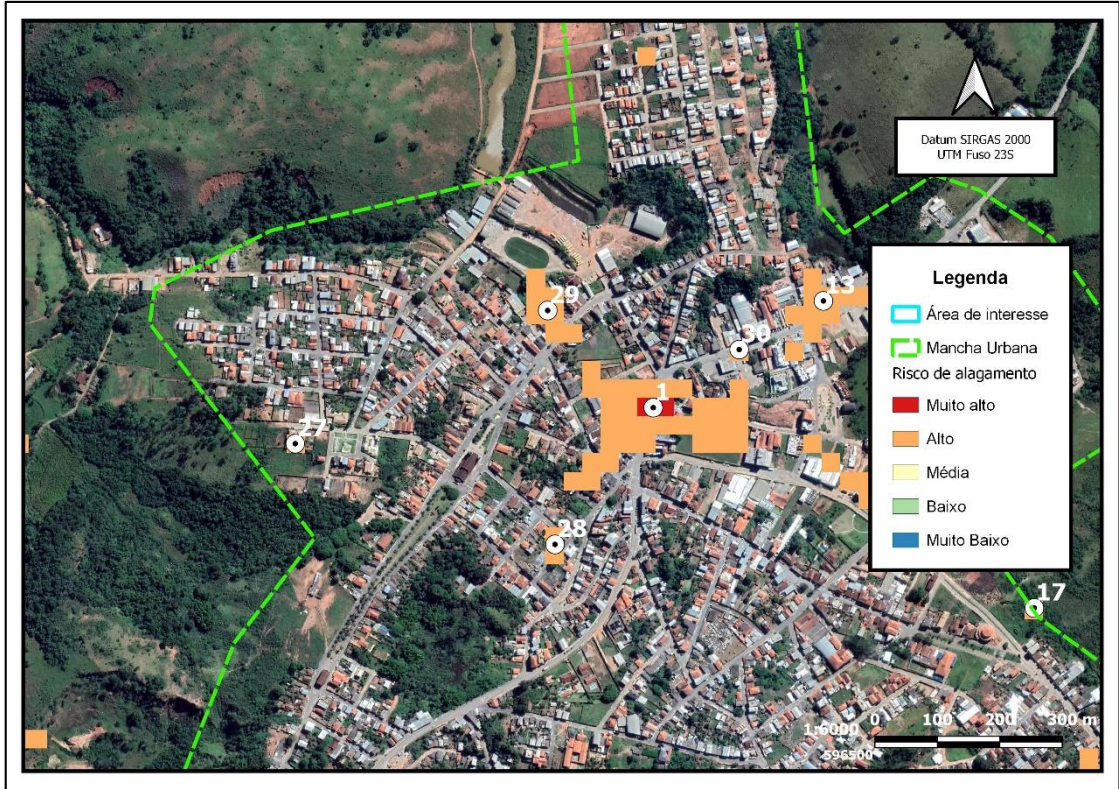


Figura 53 - Pontos 27, 28, 29 e 30, representando áreas de alto risco de alagamento.  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

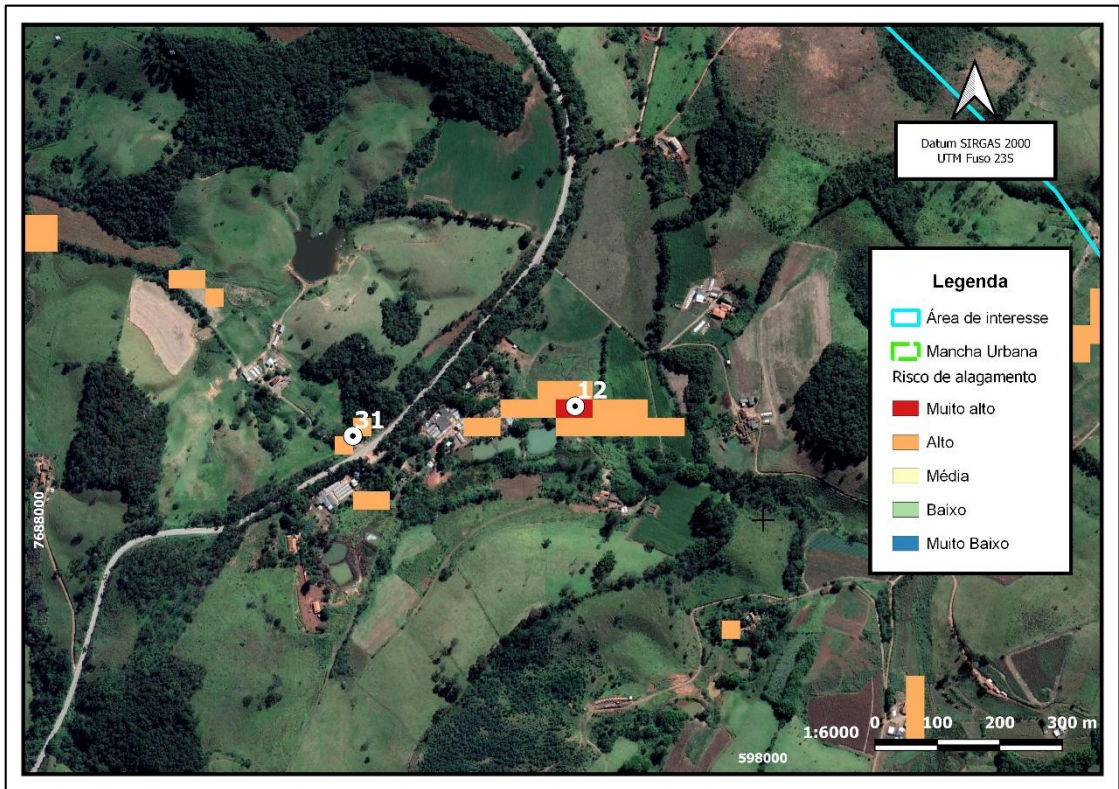


Figura 54 - Ponto 31, área de alto risco de alagamento.  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

Os locais de risco alto para alagamentos também devem passar por vistorias e planejamento de uso e ocupação do solo, pois o Ponto 15 por exemplo, situado na Rua Vereador Murilo Oliveira Campos. É um local onde os moradores da região vêm constatando casos mais frequentes de alagamento na região o que não ocorria anteriormente, conforme Figura 55.



Figura 55 - Alagamento ocorrido na Rua Vereador Murilo Oliveira Campos (Ponto 15) em novembro de 2022 no município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: Monique Campos, moradora local (2022).

### 6.5.3 Risco de movimentos de massa de solo

A metodologia e categorização proposta por Ross (1994) define as classes de declividade em função dos riscos de erosão e escorregamentos de solo, cujos valores de 20 a 30% representam risco forte e acima de 30% o risco é muito forte para erosão e escorregamentos de solo.

Dos 1.444,66 ha de áreas com declividade acima de 20% (representatividade de 43,94% da área de interesse) apenas 0,01 ha estão situados em área de muito alta aptidão à urbanização e expansão urbana, 1.077,00 ha em locais de alta aptidão, 281,82 ha em regiões de média aptidão, 63,06 ha em regiões de baixa aptidão, 0,91 ha em regiões de muito baixa aptidão e 21,86 ha inseridas em áreas inaptas à urbanização e expansão urbana.

A Figura 56 demonstra as regiões na área de interesse cuja declividade foi classificada como forte ou muito forte para a ocorrência de erosão e movimento de massa de solo, segundo

metodologia proposta por Ross (1994). Assim, observa-se que a metodologia empregada favorece que a escolha de áreas com muito alta aptidão à urbanização e expansão urbana não possuam risco tanto de alagamento como de erosão por movimento de massa de solo.

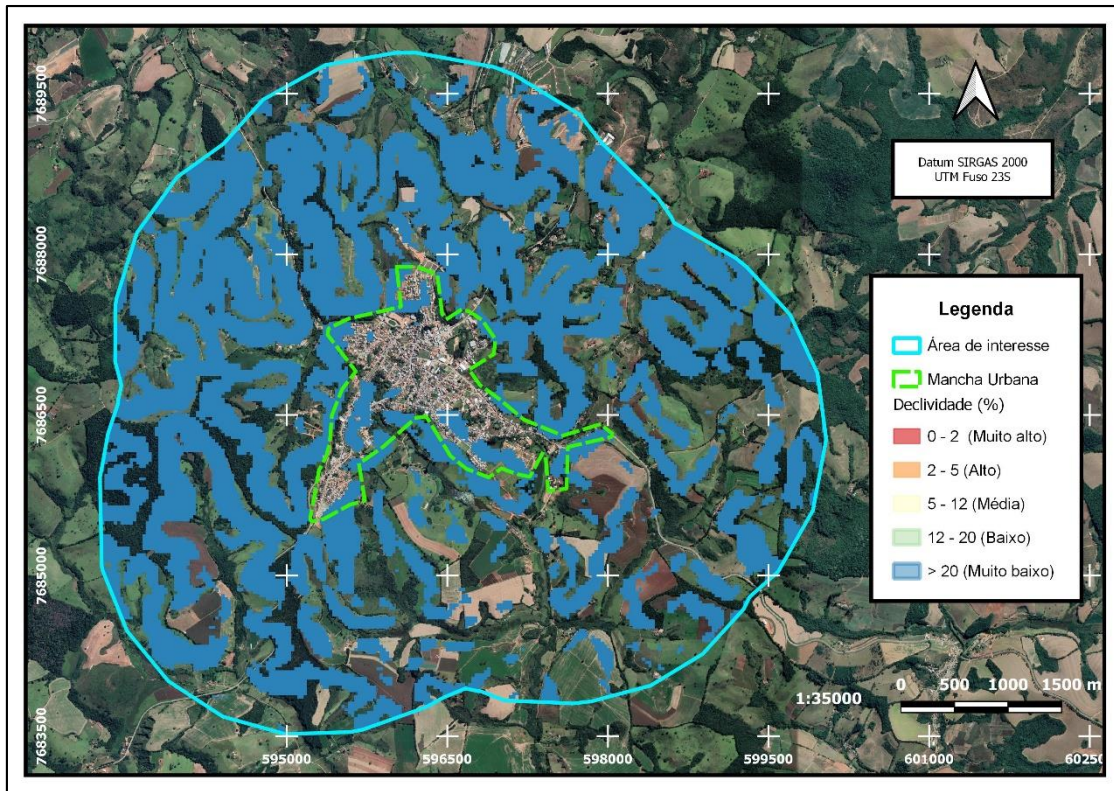


Figura 56 - Áreas de risco de movimento de massa de solo para o município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

## 6.6 A expansão urbana no município

### 6.6.1 Expansão urbana após 2010

Por meio das imagens históricas do *Google Earth*, foi possível avaliar os principais pontos de expansão urbana no município a partir de 2010, sendo observados as regiões apresentadas na Figura 57, cuja coordenadas de referência estão na Tabela 26.

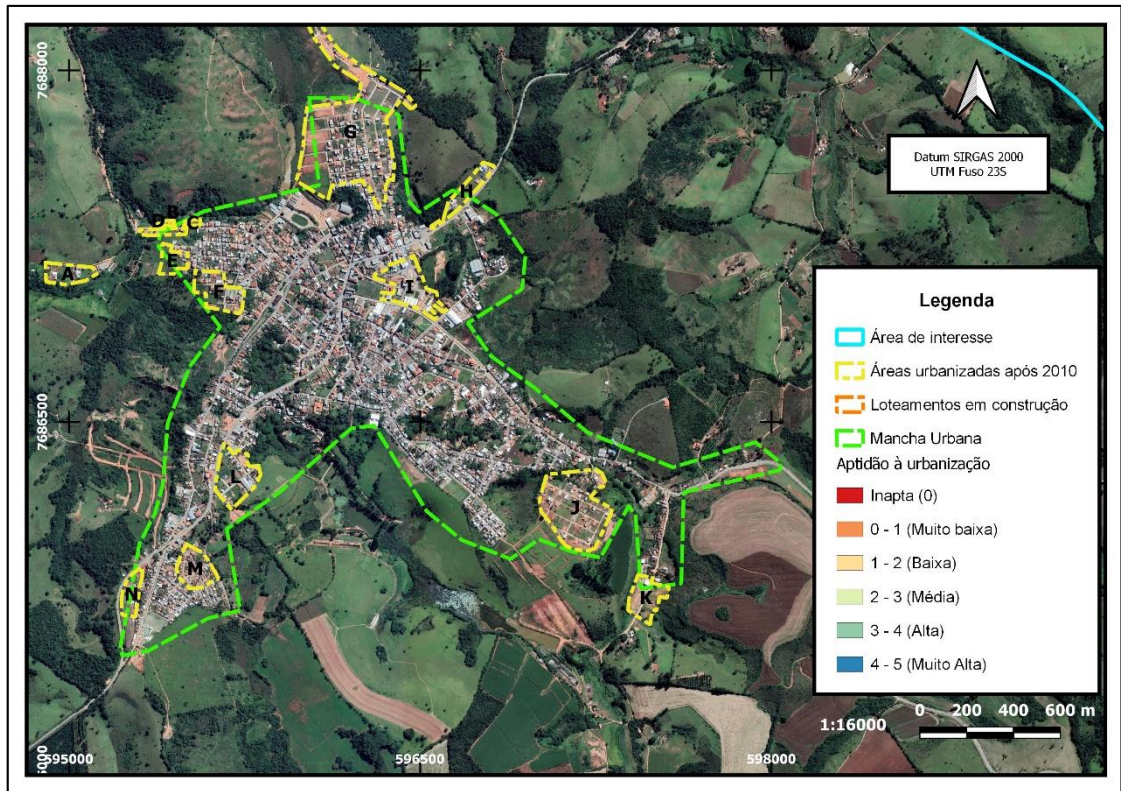


Figura 57 - Principais pontos de expansão urbana após 2010.  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

Tabela 26 - Coordenadas dos principais pontos de expansão urbana para o município de Lagoa Dourada (MG).

Nome	Leste (m)	Norte (m)
A	594999,2	7687135,5
B	595419,34	7687348,48
C	595531,4	7687346,63
D	595415,9	7687313,51
E	595452,99	7687192,72
F	595652,46	7687061,06
G	596229,42	7687689,41
H	596708,9	7687488,09
I	596450,88	7687103,44
J	597179,9	7686131,77
K	597472,36	7685756,13
L	595713,65	7686277,47
M	595549,41	7685880,11
N	595271,26	7685789,25

Fonte: O autor (2023).

Na Figura 58 é possível observar que nas regiões A, B, C, D, E e F a expansão urbana ocorreu em áreas predominantemente de alta aptidão a urbanização e expansão urbana. Próximas as regiões B, D e E existe a presença de locais de média aptidão, locais de declividade acentuada onde já ocorreram movimentos de massa de solo, demonstrados na Figura 59.

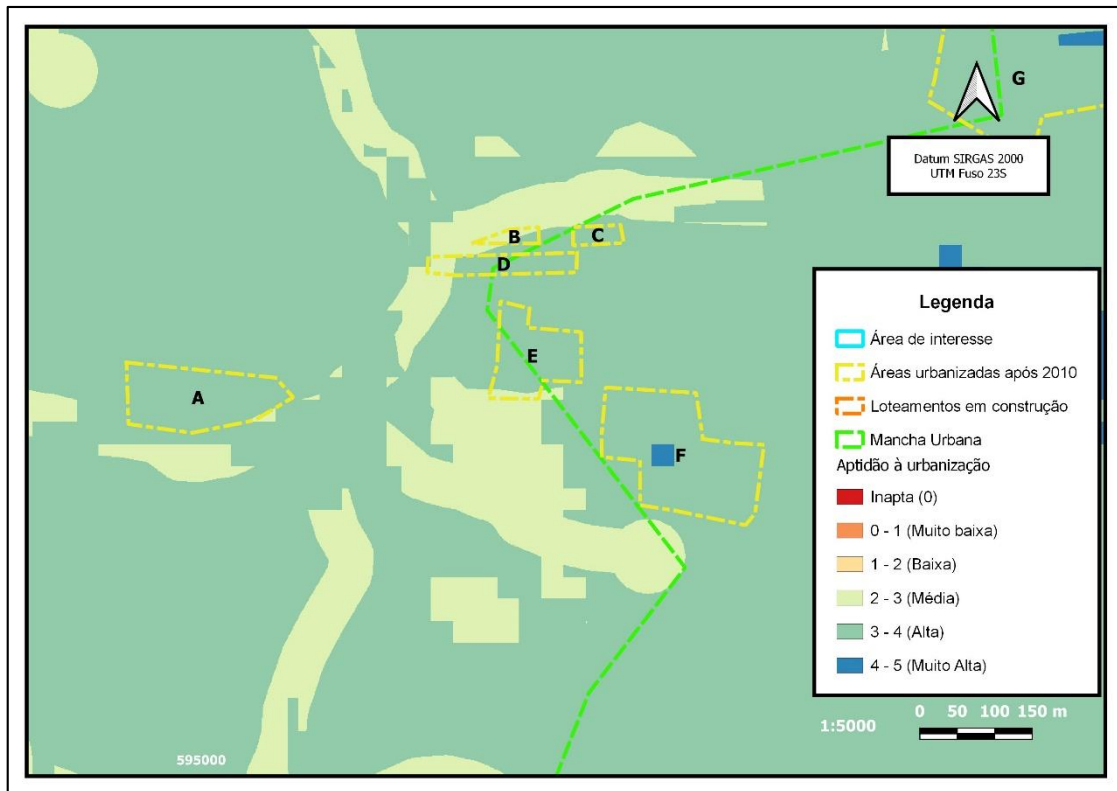


Figura 58 - Regiões A, B, C, D, E e F de expansão urbana após 2010 para o município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

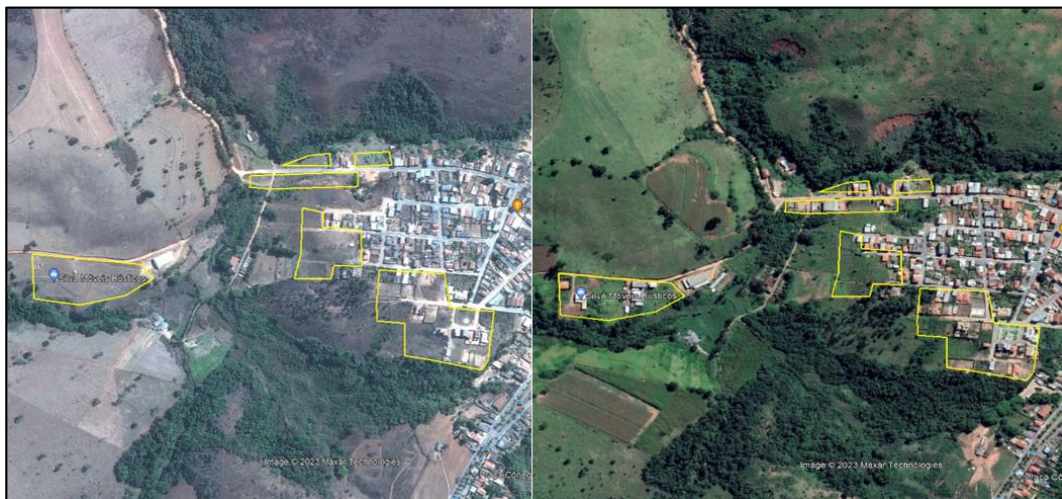


Figura 59 - Regiões A, B, C, D, E e F ao longo dos anos para o município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: Adaptado de Google Earth 2010 e 2021 (2023).

Na região G ocorreram áreas de muito alta aptidão à urbanização e expansão urbana, mas a predominância foi de alta aptidão, a região H está em grande parte em locais de alta aptidão, porém deve-se se atentar as faixas de servidão da rodovia (inaptas). A região I está inserida em local majoritariamente de muito alta aptidão a urbanização e expansão urbana, conforme Figuras 60 e 61.

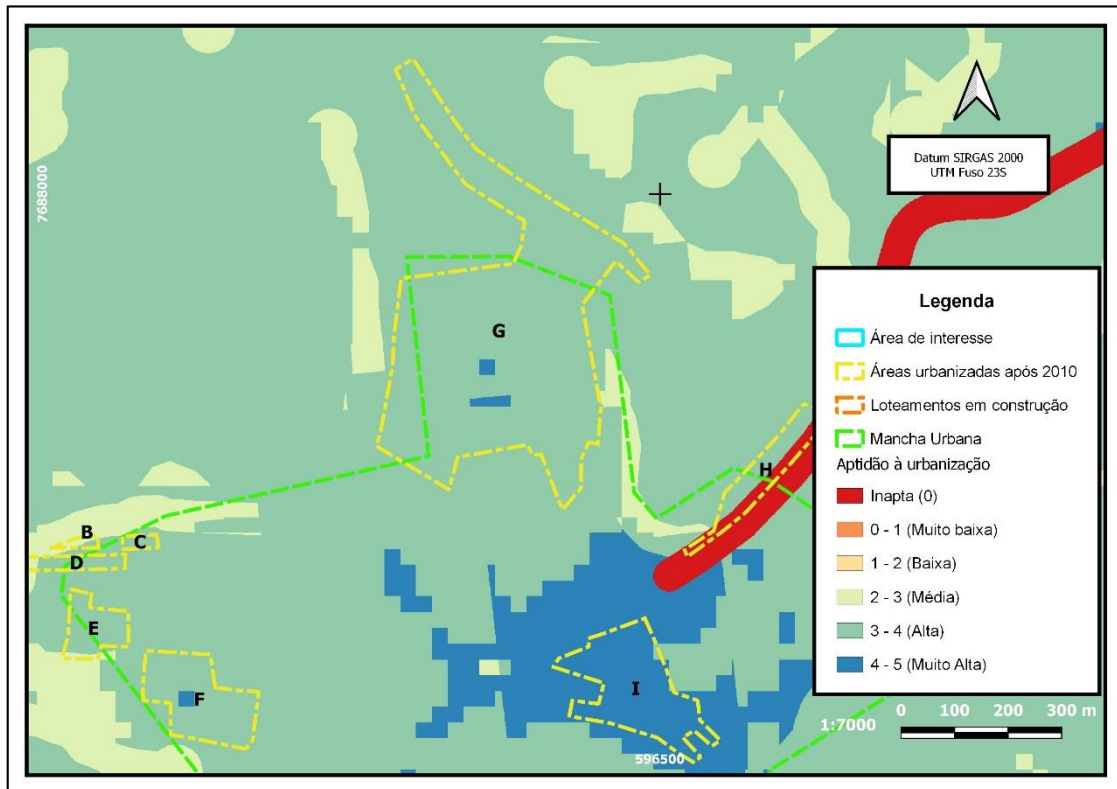


Figura 60 - Regiões G, H, I de expansão urbana após 2010 para o município de Lagoa Dourada (MG).  
Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

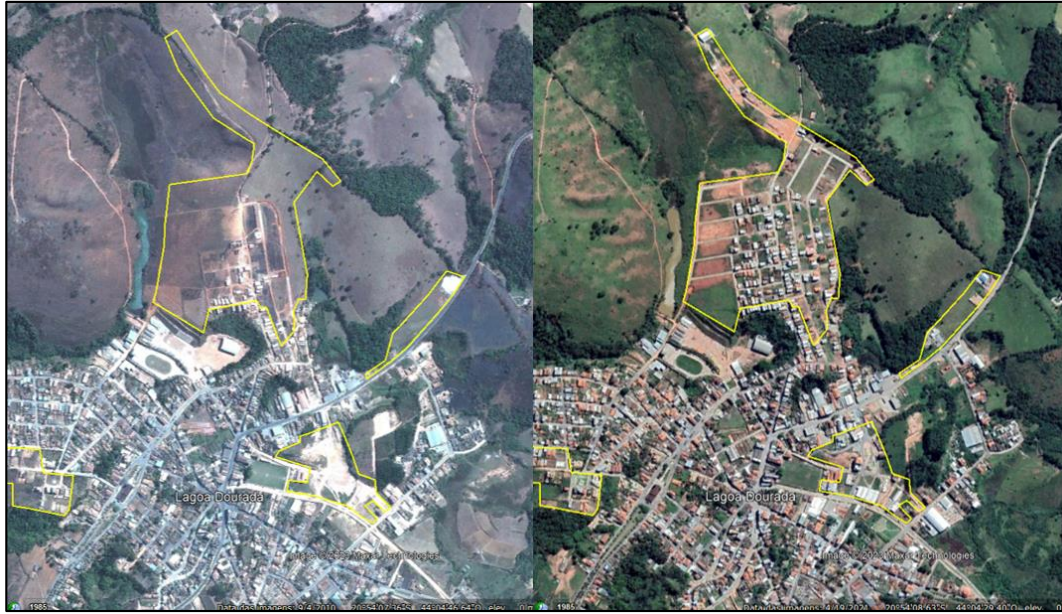


Figura 61 - Regiões G, H e I de expansão urbana ao longo dos anos para o município de Lagoa Dourada (MG)  
 Fonte: Adaptado de Google Earth 2010 e 2021 (2023).

Nas regiões J e K tiveram em sua maioria áreas de muito alta aptidão à urbanização e expansão urbana e pequenas áreas de muito alta aptidão, Figuras 62 e 63, enquanto nas regiões L, M e N foram de alta aptidão em algumas inaptas em N, conforme Figuras 64 e 65.

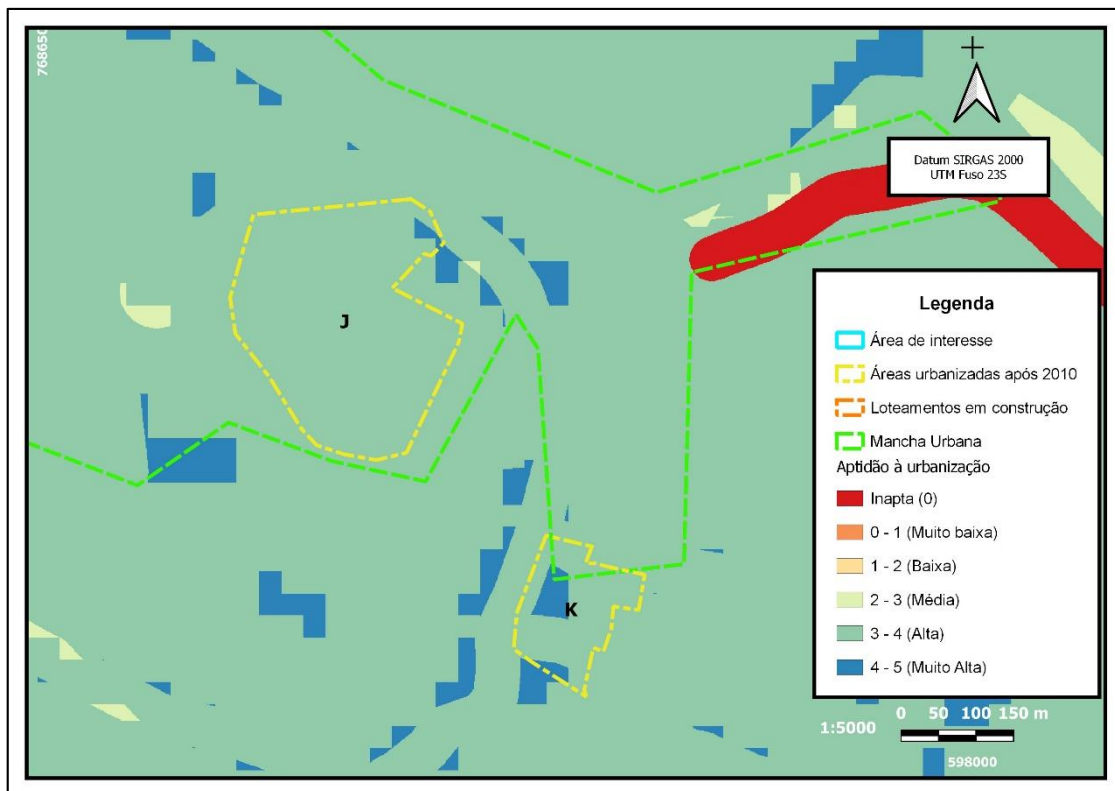


Figura 62 - Regiões J e K de expansão urbana após 2010 para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

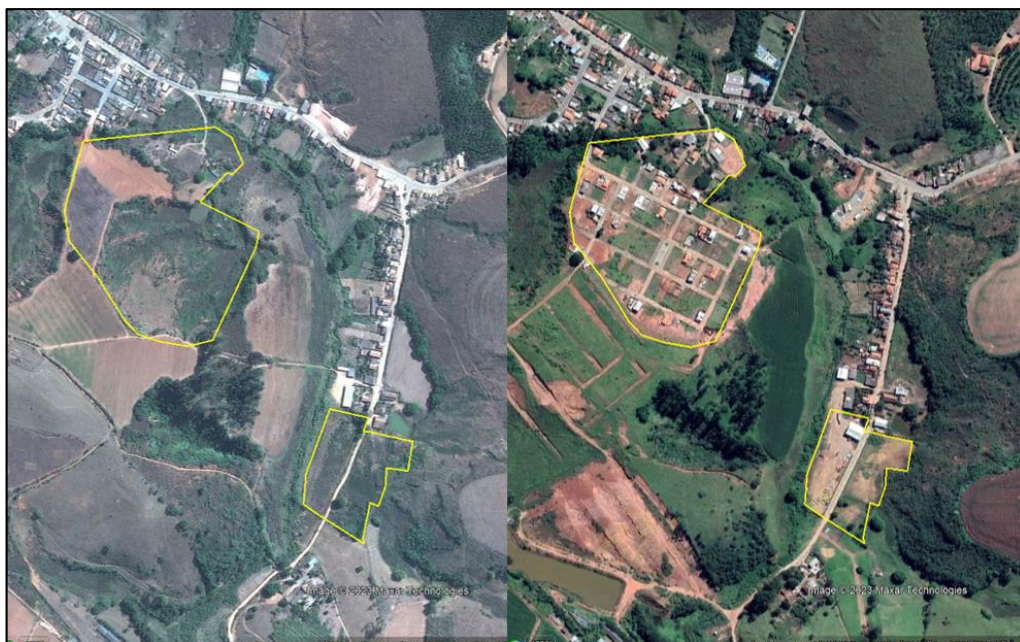


Figura 63 - Regiões J e K de expansão urbana ao longo dos anos para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: Adaptado de Google Earth 2010 e 2021 (2023).

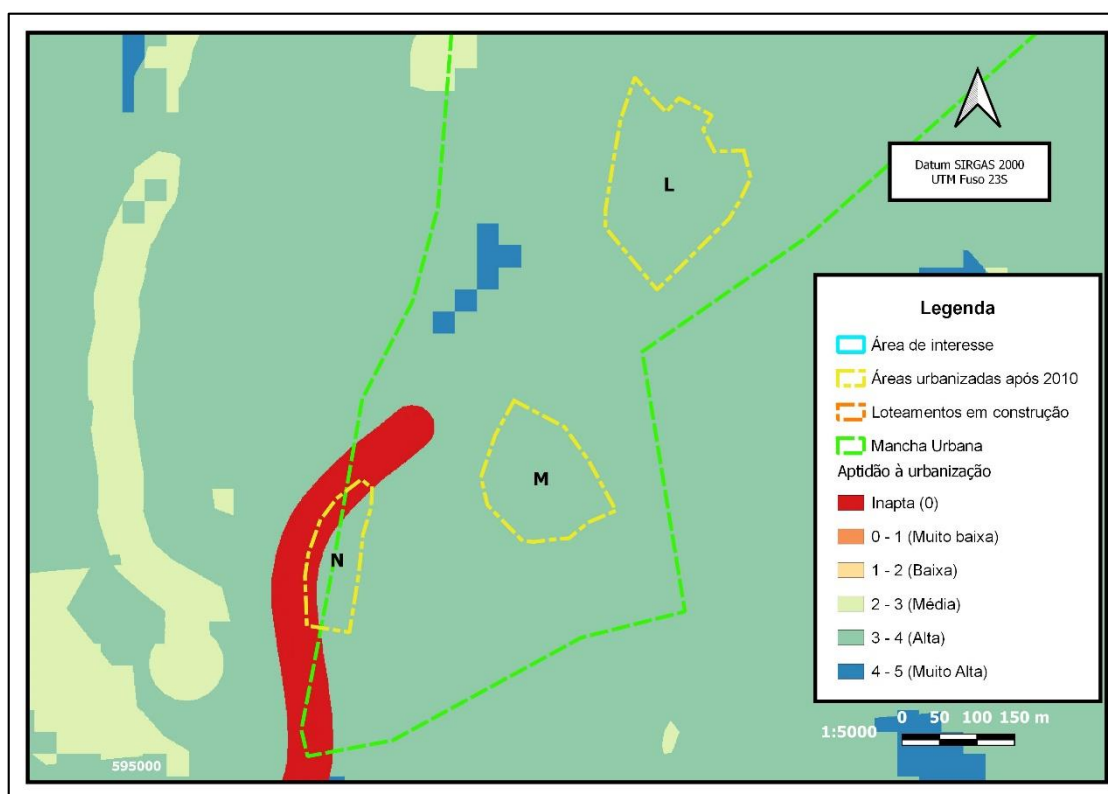


Figura 64 - Regiões L, M e N de expansão urbana após 2010 para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).



Figura 65 - Regiões L, M e N de expansão urbana ao longo dos anos para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: Adaptado de Google Earth 2010 e 2021 (2023).

Assim, constata-se que as expansões urbanas ao longo dos anos ocorreram predominantemente nos locais mais apropriados para esse fim, áreas de muito alta e alta aptidão à urbanização, porém os gestores municipais devem se atentar às construções localizadas às margens das rodovias, regiões inaptas devidas as faixas de servidão e não edificável.

### 6.6.2 Loteamentos em construção

Na Tabelas 27 são apresentas as coordenadas de referência dos loteamentos em construção e nas Figuras 66 e 67 a sua localização na área de interesse do presente estudo e a aptidão à urbanização.

Tabela 27 - Coordenadas dos loteamentos em construção no município de Lagoa Dourada (MG).

Nome	Leste (m)	Norte (m)
O	596841,88	7686890,46
P	596996,06	7685930,44
Q	597075,53	7685680,37
R	595320,8	7686267,4

Fonte: O autor (2023).

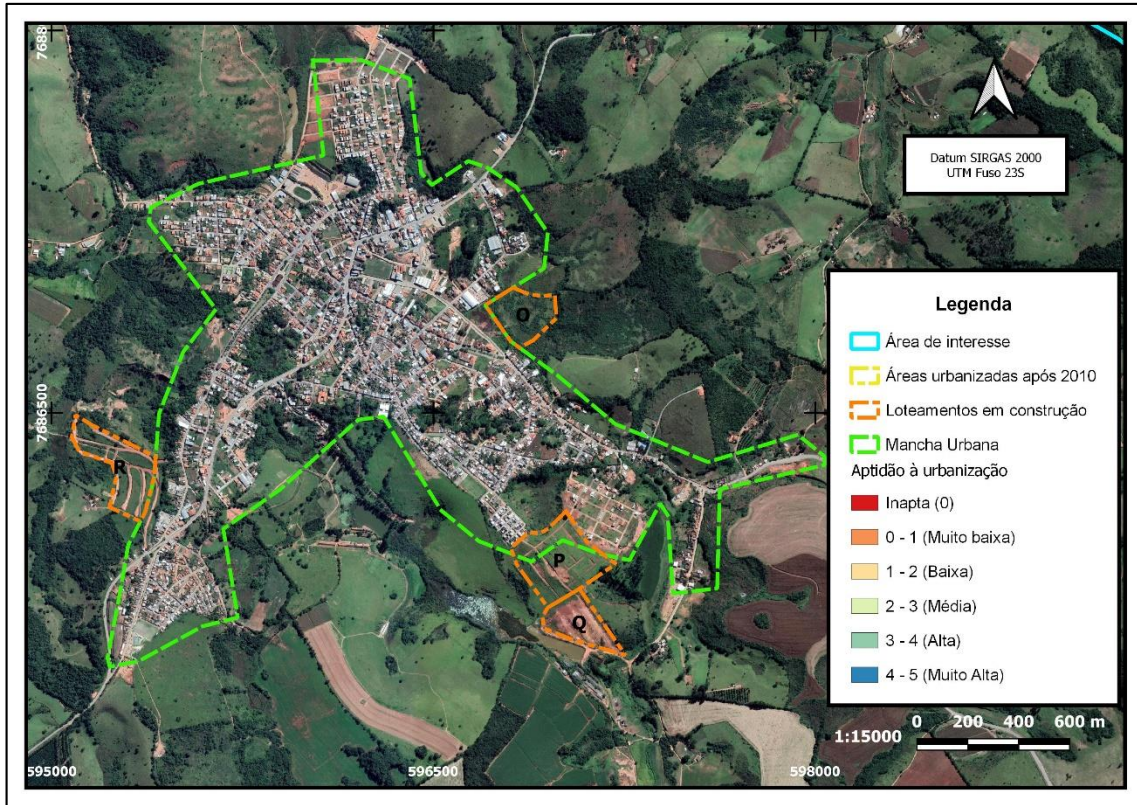


Figura 66 - Loteamentos em construção no município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

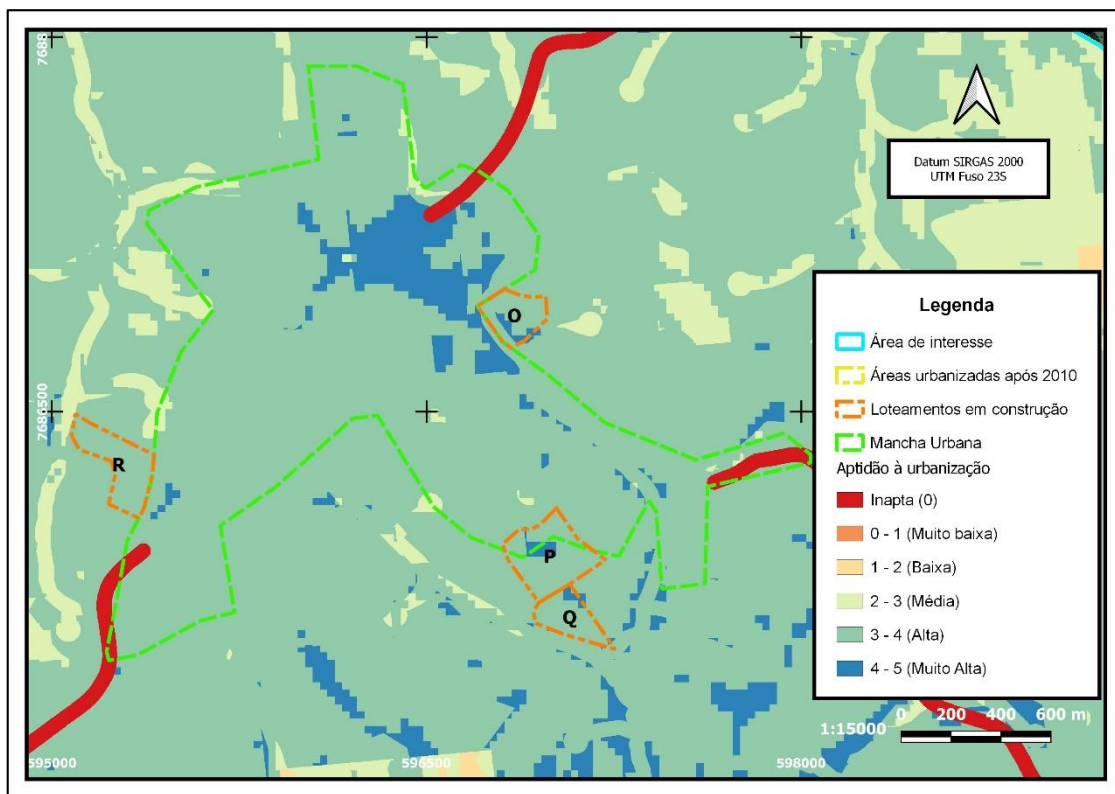


Figura 67 - Loteamento em construção e aptidão à urbanização para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado de Google Earth (2023) e Sisema (2023).

Conforme apresentado nas imagens, nota-se que as regiões O, P, Q e R, com loteamentos em construção, estão em sua maioria com áreas de muito alta aptidão à urbanização e expansão urbana e pequenas áreas de muito alta aptidão. Com isso, loteamentos em construção estão sendo realizados nos locais mais apropriados para esse fim.

## **6.7 Comparação com outras metodologias**

### **6.7.1 SIG, método AHP e urbanização**

O zoneamento ambiental das áreas urbana e de expansão urbana de Caldas Novas (GO) realizado por Costa e Nishiyama (2012) levou em consideração o mapa de declividade com uso de cartas topográficas, Mapa de Nível de Água Freática, usando medidas de cisternas contidas na área de estudo, e Mapa de Materiais Inconsolidados, fotografias aéreas obtidas pela Prefeitura Municipal de Caldas Novas e levantamentos de campo. O estudo proposto pelos pesquisadores também utilizou de informações e dados disponibilizados por órgãos governamentais, o que também ocorreu no presente estudo.

Como resultado das análises dos mapas, Costa e Nishiyama (2012) classificaram seis classes no Zoneamento Ambiental: Áreas Urbanizáveis, Áreas Urbanizáveis com Baixa Restrição, Áreas Urbanizáveis com Média Restrição, Áreas Urbanizáveis com Alta Restrição, Áreas Não Urbanizáveis e Áreas de Preservação. Os 6 critérios adotados no presente estudo tiveram nomenclatura diferente dos apresentados pelos pesquisadores, pois eles adotaram a definição também com base na restrição, diferentemente do presente estudo que definiu os critérios em função da aptidão (inapta, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta).

Em estudo desenvolvido por Faria Filho e Gonçalves (2015) para identificação de áreas aptas para expansão urbana de Rio Paranaíba (MG), foi proposta uma análise multicritério com elementos e variáveis com finalidade bem semelhantes à proposta no presente estudo, são eles: utilização de SIG para processamento de dados, a delimitação de áreas “non aedificanti” os 30 m dos cursos d’água e lagos, 15 m de rodovias e 50 m das nascentes, uso do Modelo Digital de Elevação (MDE) (identificação dos locais com inclinação menor que 30%).

Diferentemente ao proposto no presente estudo, que analisou imagens do *Google Earth* para comparação da rede de drenagem e acompanhamento do uso e ocupação do solo no município de Lagoa Dourada (MG), Faria Filho e Gonçalves (2015) utilizaram curvas de nível do *Google Earth*, a imagem *RapidEye* e o mapa da área urbana cedido pela Prefeitura Municipal de Rio Paranaíba (MG) para identificar de áreas aptas para expansão urbana.

Castro et al. (2015) também utilizaram de SIG e da análise multicritério por meio do método AHP para seleção de áreas com potencial para a construção de universidades e loteamentos universitários em Patos de Minas (MG), porém, utilizando bases topográficas obtidas junto a Prefeitura Municipal e curvas de nível foram extraídas de imagens SRTM (para definir a declividade). No presente estudo, os dados de declividade já foram baixados diretamente no portal TOPODATA (INPE, 2023), tornando a execução da metodologia mais rápida e prática do que se comparado com outras que processam dados de imagens SRTM.

Na análise multicritério estudada por Santos e Ventorini (2017) foram utilizados modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do Córrego do Lenheiro em São João del-Rei (MG). Nota-se algumas semelhanças do presente estudo com os modelos síntese de áreas propícias às enchentes e inundações, de interesse ambiental e propícias a ocupação urbana que levaram em consideração o mapa hipsométrico, mapa de declividade, uso da terra, áreas ambientais (área urbana, afloramento com vegetação, mata ciliar, pastagem, solo exposto e vegetação rasteira, voçorocas).

Embora o foco do presente estudo não seja a identificação de áreas de risco de alagamento, enchentes e inundações, a metodologia proposta restringe a urbanização dessas áreas em função da declividade e inserção em APP (principais locais de risco de enchentes e inundações). Também se observa a utilização dos dados do IDE SISEMA (SISEMA, 2023) como fonte de informação sobre uso e ocupação do solo (cobertura da mata atlântica, qualidade ambiental, vulnerabilidade do solo, exposição do solo). Assim, comparando com o estudo de Santos e Ventorini (2017), nota-se que foram procedimentos e fontes de dados diferentes, mas com propósitos semelhantes.

A obtenção do mapa de adequabilidade à expansão urbana do município de Monte Belo do Sul (RS) gerado por Grabski e Farina (2018) foi possível graças aos pesos atribuído para aos fatores: 0,2600 (26%) para proximidade da área urbana, 0,1657 (16,57%) para proximidades do sistema viário, 0,0830 (8,30%) para distância do Rio das Antas, 0,0830 (8,30%) para distância das demais drenagens e 0,4082 (40,82%) para distância das nascentes. Um ponto interessante levado em consideração pelos pesquisadores foi a proximidade com a área urbana, e no presente estudo foi estipulado uma área no entorno da mancha urbana como sendo os locais mais prováveis para a urbanização e expansão urbana. O modelo espacial para seleção de áreas adequadas à expansão urbana foi baseado na avaliação multicritério, verificação de

proximidade com corpos hídricos e emprego de SIG, semelhante ao proposto no presente trabalho.

Costa, Farias e Loureiro (2020) avaliaram aspectos geoambientais como subsídio ao planejamento urbano da cidade de Marabá (PA), o peso adotado para declividade foi de 7,588%, para a altitude foi 4,572%, a geomorfologia com 15,89%, a distância de rios de 43,97% e uso e ocupação do solo com 27,98%. Na pesquisa desenvolvida pelos autores, a altitude se mostrou relevante para o planejamento, aspecto esse não aprofundado aqui no presente estudo.

Ribeiro et al. (2020) identificaram áreas potenciais à expansão urbana no município de Pirassununga (SP), cujas informações de rede de drenagem foram obtidas das cartas topográficas do IBGE, mapa temático das classes de declividade elaborado a partir do mapa temático de classes hipsométricas, a classificação dos usos e cobertura da terra foi baseada no sistema multinível de classificação proposto pelo IBGE e imagem do satélite LandSat 8 – sensor OLI/TIRS na aplicação da lógica difusa (Fuzzy). A classificação de uso e ocupação do solo desenvolvida pelos autores se mostra uma alternativa para ausência de dados públicos sobre essa temática, situação essa que não foi observada no presente estudo.

Cachola (2021) estudou a evolução da mancha urbana na periferia da cidade de São Paulo, no distrito do Iguatemi, analisando imagens rasters dos satélites Landsat 5 e 8, arquivos vetoriais fornecidos pela prefeitura do município de São Paulo (SP) e o QGIS para calcular o *Normalized Difference Built up Index* (NDBI), que é um índice radiométrico, onde os alvos principais são as áreas urbanas. O proposto pelo autor, foi a constatação que, se hipoteticamente a área de ocupação seguir uma tendência linear, em 43 anos a porção de área verde na região de estudo será suprimida. No presente trabalho foi realizado a análise para ver se a urbanização se deu ao longo dos anos nos locais mais aptos para essa finalidade, o que foi constatado que sim.

Uma outra maneira de avaliar a alteração do uso solo foi realizada com dados dos satélites Landsat 5 (banda 6) e Landsat 8 (banda 10), adquiridas no site da *United States Geological Survey* (USGS), uso e cobertura da terra do Mapbiomas e *Google Earth Pro* e o uso do QGIS para o estudo da variação de temperatura, mudanças de cobertura e uso da terra, expansão urbana e correlação estatística. Desse modo, Camelô e Pereira (2022) avaliaram a urbanização e seus efeitos em Teresina (PI) usando elementos bem semelhantes ao estudados no presente estudo, dando destaque para a variação da temperatura.

Na avaliação dos efeitos do novo plano de ordenamento territorial de Teresina (PI) sobre seu potencial de ocupação e expansão urbana, Vieira e Vieira (2022) coletaram informações raster da SRTM, mapa de cobertura e uso da terra do MapBiomas, mapa de pedologia e geologia, perímetro urbano de Teresina obtido na página da SEMPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação), macrozoneamento urbano da SEMPLAN (Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação) e equipamentos públicos e infraestrutura obtido na SEMPLAN. Semelhante ao proposto no presente trabalho, a avaliação multicritério foi realizada com o emprego do método AHP, com pesos dos critérios definidos em 0,27 (27%) para geologia, 0,10 (10%) para pedologia, 0,38 (38%) para uso do solo, 0,09 (9%) para declividade e 0,15 (15%) para infraestrutura.

As várias metodologias apresentadas fazem o uso de diferentes variáveis para gerar áreas mais propícias à urbanização, dentre os critérios analisados, a declividade, proximidade de cursos d'água, uso e ocupação do solo e áreas de risco de inundação e de deslizamentos de solo são os pontos que mais se assemelham com outras pesquisas. Também cabe ressaltar a importância de dados e informações provenientes não só de produtos de sensoriamento remoto, mas também de coletas e investigação, observado principalmente em escalas menores e desenvolvido geralmente pelas prefeituras.

Entretanto, a quantidade de variáveis analisadas no presente estudo foi muito superior às metodologias para avaliar a expansão urbana e sua relação com o meio ambiente, sendo aqui observados aspectos relacionados ao licenciamento ambiental da tipologia da atividade para o estado de Minas Gerais. Os critérios locais e fatores de restrição e vedação devem ser observados na implantação de loteamentos e expansão urbana, logo, o presente estudo se apresenta como uma metodologia para melhorar o ordenamento territorial, observando não só a legislação ambiental, mas também a de regularização de uso e parcelamento do solo urbano.

Embora os dados disponibilizados gratuitamente pelas plataformas governamentais mencionadas sejam de grande relevância e fonte de referências georreferenciadas, é necessária uma análise criteriosa das informações. Os dados da rede de drenagem são um exemplo disso, que podem apresentar divergência com a situação real em função da escala de mapeamento da cobertura terrestre pelos satélites, o que demanda vistoria em campo e conhecimento da área para melhor caracterização

### **6.7.2 Áreas de risco**

O uso de SIG demonstrou ser uma boa metodologia de aplicação na identificação e áreas de risco de alagamentos, possibilitou a obtenção de resultados e principalmente a priorização de áreas de atuação. Nascimento e Oliveira (2022) também observaram uma eficiência das ferramentas usadas na identificação e espacialização dos pontos de alagamento na área intensamente urbanizada e a localização de bairros mais vulneráveis.

O mapeamento de áreas de risco de alagamento no município de Guarujá (SP) utilizando método de análise hierárquica de Mantis e Vaz (2019) foi realizado com o emprego do QGIS para realizar o processamento do mapa pedológico, mapa de declividade, mapa hipsométrico e mapa de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal e o emprego do método AHP para atribuir valores de importância entre as variáveis, comprovando que a metodologia torna estudos dessa natureza mais rápidos, viáveis e de fácil compreensão.

A verificação em campo dos locais e identificação de cenários de alagamentos já recorrentes é de suma importância para validação da metodologia empregada. Pessoa Neto, Silva e Barbosa (2022), verificaram a eficiência do método empregado comparando o mapa de suscetibilidade às inundações e aos alagamentos com registros reais desses desastres hidrológicos.

O alagamento tem influência das causas naturais, porém a ação antrópica pode resultar em impactos altamente prejudiciais para o escoamento e infiltração de solo. Bolson e Teixeira (2020), que avaliaram a altimetria/hipsometria, declividade, hidrografia e impermeabilização superficial do solo e Lima et al. (2019), que usaram o Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS), arranjo do sistema de drenagens pluviais, registros históricos de alagamentos e de precipitações horárias na identificação e avaliação de zonas de alagamentos urbanos.

Cabe ressaltar que o acometimento de precipitações muito intensas, com um alto volume de chuva em curto tempo, até os locais onde existe um bom sistema de drenagem de água pluvial podem não ser suficientes para realizar o escoamento de água e favorecer o acometimento de alagamento. Segundo Bainy, Avila e Silva (2022), o volume acumulado de chuva, ocorrência de precipitações localmente volumosa e a configuração do relevo proporcionam as condições ideais para alagamentos.

Segundo Lima, Avanzi e Silva (2021), emprego do QGIS para processar os dados de declividade estruturados em quadriculas no formato *GeoTiff* do portal TOPODATA do INPE demonstraram ser uma técnica de fácil aplicação e de grandes benefícios para a identificação de áreas com risco de erosão do tipo movimento de massa no solo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta para identificar de áreas aptas à urbanização e expansão urbana se mostrou muito promissora para promover o ordenamento territorial e preservação dos recursos naturais, tomando o município de Lagoa Dourada (MG) como área piloto.

A comprovação da aplicabilidade da metodologia e sua validação na prática ocorreu por meio de acompanhamento da urbanização no município utilizando imagens históricas do *Google Earth* e os atuais loteamentos em construção, cujos locais ocorrem em regiões classificadas pela metodologia proposta como mais apropriadas para esse fim, conforme mapas de aptidão apresentados.

A partir da metodologia proposta, os gestores municipais, empreendedores ligados ao setor imobiliário, consultores, pesquisadores e profissionais de engenharia e arquitetura podem fazer o uso dessa ferramenta para reduzir os impactos ambientais, melhorar o planejamento territorial, auxiliar na escolha de áreas para investimento imobiliário e divulgação científica para essa temática.

A análise multicritério com emprego do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi fundamental para a definição dos pesos para as variáveis, de modo a gerar dados que comprovassem a consistências dos valores obtidos para os diferentes critérios, principalmente devido a quantidade de itens avaliados, tendo cada variável a sua importância e relevância em diversos aspectos ambiental, sociais e econômicos e políticos.

As variáveis de relevância ambiental aforam estipuladas seguindo os critérios locais e fatores de restrição e vedação para o licenciamento ambiental no estado de Minas Gerais e as variáveis construtivas levaram em consideração instrumentos e projetos territoriais, com dados do zoneamento ecológico econômico. As faixas das rodovias foram estipuladas com uso do *Google Earth* e informações do DER enquanto que os recursos hídricos foram delimitados com ajustes na rede de drenagem da bacia hidrográfica, dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e conhecimento da área.

O desenvolvimento de uma proposta metodológica para o zoneamento de áreas aptas à urbanização apresentou grande aplicabilidade e importância como ferramenta para contribuir para o ordenamento territorial e minimização de impactos ambientais, atendendo aos objetivos da proposta de pesquisa.

A revisão bibliométrica demonstrou que urbanização e meio ambiente é um assunto atual, de grande relevância científica e com grande número de publicações, porém o emprego do método AHP aliado às temáticas mencionadas ainda está em desenvolvimento. Desse modo, o presente estudo traz uma contribuição para a disseminação científica dessa área menos aprofundada.

Com sugestões para estudos futuros envolvendo delimitação de áreas propícias à urbanização e expansão urbana deve-se realizar o levantamento topográfico para delimitação do uso, ocupação do solo e recursos hídricos, o que trará maior precisão aos dados. Caso as prefeituras tenham bases de dados acerca do município, esses poderão ser incorporados à metodologia, avaliar aspectos sociais e de infraestrutura do local, como por exemplo a proximidade de escolas, postos policiais, áreas hospitalares, acesso ao transporte público e infraestrutura de saneamento e energia elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. Mapa interativo da precipitação média anual e tempo de retorno. 2020. Disponível em: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=da8c9edf91804682b269e9d631117619>>. Acesso em: 16 mar. 2023.
- ANDRADE, R. V. de; LUPINACCI, C. M. Proposta para a cartografia de faixa de proteção do reverso das cuestas: um estudo de caso em Botucatu (SP). *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 2, n. 43, p. 75–96, 2021.
- ARAUJO, A. N. S. M. de. Determinação do índice de qualidade de projetos de saneamento integrado e urbanização de favelas: uma aplicação da abordagem multicritério. *Brazilian Journal Of Development*, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 53241-53253, 2021.
- ARAÚJO, P. A. de; SANTOS JUNIOR, R. R. dos; OLIVEIRA, Í. de P. Crescimento urbano desordenado no bairro de Messejana, Fortaleza-CE: a educação ambiental como mitigadora dos impactos ambientais. *Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas*, n. 12, p. 55-65, 2020.
- AVILA, A. R. S. Um Estudo Sobre os Conceitos Matemáticos que Sustentam o Método de Análise Hierárquica (AHP). Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Matemática Aplicada) - Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande do Sul, p. 50. 2023.
- BAINY, B. K.; AVILA, A. M. H.; SILVA, P. H. da. Chuvas intensas e ocorrência de alagamentos: um estudo de caso para Campinas SP, 2019. **Labor e Engenho**, Campinas, SP, v. 16, p. 1-12, 2022.
- BARBOZA, E. N.; BEZERRA NETO, F. das C.; CAIANA, C. R. A. Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. **Research, Society And Development**, v. 9, n. 7, p. 1-21, 28 abr. 2020.
- BEZARRA, P. C.; SOUZA, J. D. de. Urbanização de Tabatinga e impactos ambientais: estudo de caso do Igarapé Urumutum. **Revista Geoamazonia, Belém**, v. 9, n. 17, p. 111-125, 2021.
- BIASI, M. de. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista Do Departamento de Geografia*, v. 6, p.45-60, 1992.
- BISPO, C. de O. et al. Suscetibilidade induzida a escorregamentos, via aplicação do método AHP. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 1, p. 298–314, 2020.
- BOLSON, R. T.; TEIXEIRA, A. M. Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos no município de Caxias do Sul. **Revista CIATEC-UPF**, v. 12, n. 1, p. 1-20, 1, 2020
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 17 jul. 2023
- BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília, DF, de dezembro de 1979. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm)>. Acesso em: 02 jul. 2023.
- BRASIL. Lei nº 9.785, de 29 de janeiro de 1999. Altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941 (desapropriação por utilidade pública) e as Leis nos 6.015, de 31 de dezembro de 1973

(registros públicos) e 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (parcelamento do solo urbano). Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19785.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19785.htm)>. Acesso em: 02 jul. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 02 jul. 2023.

CACHOLA, C. da S. Evolução da mancha urbana na periferia da cidade de São Paulo: um estudo de caso sobre o distrito do Iguatemi. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 9, n. 2, p. 141-157, 2021.

CAMÊLO, G. dos S.; PEREIRA, G. M. Geoprocessamento aplicado ao estudo do processo de urbanização e seus efeitos em Teresina, Piauí. *Revista da Academia de Ciências do Piauí*, v. 3, n. 4, 2022.

CASTRO, J. de S. et al. Utilização de SIG e análise multicritério para seleção de áreas com potencial para a construção de universidades e loteamentos universitários. **Boletim de ciências geodésicas**, v. 21, p. 652-657, 2015.

CÔRTEZ, J. C.; SILVA JÚNIOR, R. D. da. A Interface entre Desmatamento e Urbanização na Amazônia Brasileira. **Revista Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 24, p. 1-23, 2021.

COSTA, R. A.; NISHIYAMA, L. Zoneamento ambiental das áreas urbana e de expansão urbana de Caldas Novas (GO): uma contribuição metodológica. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, n. 25, p. 343-373, 2012.

COSTA, S. T. L. da; FARIAS, L. J. de S.; LOUREIRO, G. E. Aspectos geoambientais como subsídio ao planejamento urbano da cidade de Marabá (PA). **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 9, n. 2, p. 257-284, 2020.

COSTA, T. de A.; LOBATO, F. H. S.; CAÑETE, V. R. “O Mata Fome está morrendo, a comunidade também”: reflexos da urbanização na saúde em uma periferia de belém. **Novos Cadernos NAEA**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 179-199, 11 set. 2020.

DIAS, Á. J.; OLIVEIRA, J. P. L. de. CIM in the context of smart cities: how the interoperability between bim and sig can assist the development of smart cities. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 9, n. 70, p. 96-112, 7 out. 2021.

DIMITROV, S.; ALVIM, A. B. Novas tecnologias como forma de diminuição da segregação urbana: o uso de drones para mapeamento de favela na cidade de São Paulo. **Seminário Internacional de Investigación En Urbanismo (SIU)**, Barcelona, v. 13, n. 1, p. 1-13, 19 jan. 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Território Mata Sul Pernambucana. **Relevo**. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/relevo>>. Acesso em 23 de abril de 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. Brasília. DF. 2018. p. 356.

FARIA, D. G. M.; AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. **Revista do Instituto Geológico**, v. 34, n. 1, p. 23-44, 2013.

FARIA FILHO, R. F.; GONÇALVES, R. M. L. Uso do SIG na identificação de áreas aptas para expansão urbana de Rio Paranaíba/MG. **Revista Territorium Terram**, v. 3, n. 5, p. 41-48, 2015.

FRANCISCO, W. de C. e. Inundações Urbanas. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/inundacoes-urbanas.htm>. Acesso em 27 de dezembro de 2023.

FRANÇA, L. C. de J. et al. Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados por meio de avaliação multicritério. *Nativa*, v. 7, n. 5, p. 589–599, 2019.

FURLAN, A. R.; TRENTIN, R. Urbanização e exposição ao perigo de inundação: um estudo na bacia hidrográfica do Rio Henrique, Erechim, RS. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 15, n. 37, p. 246-270, abr. 2021.

GOMES, C.; ANDRADE, D. J. de. Informação e comunicação: Inovações Tecnológicas e Sociopolíticas para o Planejamento Regional Socialmente Construído. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 3, 2021.

GOUVEA, L. P. de S.; SANTOS, E. de O. Vulnerabilidades e impactos socioambientais da urbanização no Rio Cabuçu-Piraquê, Zona Oeste -RJ. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, n. 21, p. 225-242, jul. 2021.

GRABSKI, K. R.; FARINA, F. Modelo espacial para seleção de áreas adequadas à expansão urbana baseado em Avaliação Multicritério e Sistemas de Informação Geográfica. Caso do Município de Monte Belo do Sul, RS. **Ambiência**, v. 14, n. 2, p. 282-299, 2018.

GUEDES, V. L. da S. A bibliometria e a gestão da informação e do conhecimento científico e tecnológico: uma revisão da literatura. **PontodeAcesso**, v. 6, n. 2, p. 74-109, 2012.

GUITARRARA, P. Deslizamento de terra no Brasil. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/enchentes-deslizamentos-terra-no-brasil-principais-causas.htm>. Acesso em 27 de dezembro de 2023.

GUITARRA, P. Favelização. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/favelizacao-segregacao-urbana.htm>. Acesso em 27 de dezembro de 2023.

GUITARRARA, P. Poluição da água. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/poluicao-agua.htm>. Acesso em 27 de dezembro de 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Portal Governo Brasileiro. 2022. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>. Acesso em: 27 dez. 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Sensoriamento Remoto. Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. 2022. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> >. Acesso em: 16 mar. 2023.

KROTH, G. A. B.; VIEIRA, I. C. B.; YKEIZUMI, L. Y. F. Estudos do crescimento urbano no município de Ihota – SC no período de 1999 – 2019. **Metodologias e Aprendizado**, v. 2, p. 10-14, 15 maio 2020.

LAGOA DOURADA. Lei complementar nº 108, de 28 de dezembro de 2006. Dispõe sobre parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/mg/l/lagoa-dourada/lei-complementar/2006/11/108/lei-complementar-n-108-2006-dispoe-sobre-parcelamento-do-solo-urbano-e-da-outras-providencias?q=108>>. Acesso em: 27 dez. 2023

LEAL, F. C. B. da S.; BARBOSA, I. M. B. R.; AQUINO, J. T. de. Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: o caso da bacia hidrográfica do Rio Una em Pernambuco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n, p. 20-40, 18 ago. 2020.

LENINE, E.; MÖRSCHBÄCHER, M. Pesquisa bibliométrica e hierarquias do conhecimento em Ciência Política. **Revista Brasileira de Ciência Política**, n. 31, p. 123–160, 2020.

LIMA, C. C. de et al. Identificação e Avaliação de Zonas de Alagamentos Urbanos, com o Suporte de Geotecnologias, na Cidade de Natal, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, 2019.

LIMA, V. H. R.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N. Áreas de risco de erosões do tipo movimento de massa do solo em Lagoa Dourada, Minas Gerais–Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 3603-3620, 2021.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciométrica e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, v. 27, n. 2, 1998.

MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá–SP utilizando Método de Análise Hierárquica. **Leopoldianum**, v. 45, n. 126, p. 69-85, 2019.

MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dossiê climatologia de Minas Gerais, p. 129-156. 2018.

MATHIAS, D. T.; LUPINACCI, C. M.; NUNES, J. O. R. Identificação dos fluxos de escoamento superficial em área de relevo tecnogênico a partir do uso de modelos hidrológicos em SIG. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 820-831, 2020.

MINAS GERAIS. Decreto Estadual 44.646 de 31 de outubro de 2007. Disciplina o exame e anuência prévia pelo Estado, por meio da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana - SEDRU, para aprovação de projetos de loteamentos e desmembramentos de áreas para fins urbanos pelos municípios. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7434>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

MINAS GERAIS. Decreto nº 44.768 de 03 Abril de 2008. Altera Decreto nº 44.646, de 31 de outubro de 2007, disciplina o exame e anuência prévia pelo Estado, por meio da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana - SEDRU, para aprovação de projetos de loteamentos e desmembramentos de áreas para fins urbanos pelos municípios, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9675>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

MINAS GERAIS. Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

MUGNAINI, R. A bibliometria na exploração de bases de dados: a importância da Lingüística. **Transinformação**, Campinas, v. 15, p. 45-52, 2003.

MORORÓ, T. da S. P. O processo de urbanização no Brasil da primeira república e a segregação social consequente. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 9, n. 208, p. 1-17, 17 set. 2021.

NASCIMENTO, P. S. de R.; OLIVEIRA, K. S. Análise espaço-temporal da ocorrência de alagamentos em área intensamente urbanizada. *Revista Contexto Geográfico*, v. 7, n. 14, p. 1-15, 2022.

NUNES, J. F.; ROIG, H. L. Modelagem dos conflitos de uso e ocupação do solo como ferramenta para o planejamento territorial: o caso da bacia do alto curso do Rio Descoberto DF/GO. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 7, 2016.

OLIVEIRA, W. de; BAMPI, A. C.; SILVA, R. M. da. Problemas socioambientais em pequena cidade e implicações à comunidade local: estudo da cidade de Jauru/MT. **Revista Equador**, v. 10, n. 2, p. 01-25, 2021.

ONU. Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos, ONU Habitat. **ONU News-Perspectiva Global Reportagens Humanas**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2022/06/1794212>>. Acesso em: 08 jul. 2023.

PEREIRA, G. A. et al. Lógica fuzzy aplicada a elaboração de carta geotécnica de aptidão à urbanização da área de expansão da UNICAMP - Campinas, SP. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 1137-1145, jan. 2021.

PESSOA NETO, A. G. P.; SILVA, S. R. DA; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Boletim de Geografia**, v. 40, p. 277-296, 2022.

PINHO, R. G.; GARCIA, P. H. M.; GARCIA, M. S. Diretrizes para o planejamento ambiental e análise diagnóstica das interações entre recurso hídrico e urbanização, com o uso de geoprocessamento. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 16, n. 3, p. 96-112, 2020.

PINHO, R. M. L.; CARRIÇO, J. M. A urbanização na zona costeira e os impactos ambientais – o caso da RMBS no Estado de São Paulo. **Leopoldianum**, [s. l.], v. 47, n. 131, p. 21-39, jan. 2021.

QGIS. Um Sistema de Informação Geográfica livre e aberto. 2022. Disponível em: <[https://qgis.org/pt\\_BR/site/](https://qgis.org/pt_BR/site/)>. Acesso em: 02 mar. 2023.

- RAPOSO, M. C. R. A. et al. Planejamento Integrado e Tecnologias para Cidades Sustentáveis – projeto CITInova. **Parcerias Estratégica**, Brasília, v. 50, n. 25, p. 19-36, jun. 2020.
- RIBEIRO, M. F. B. et al. Identificação de áreas potenciais à expansão urbana no município de Pirassununga-SP. **Tecnologia e Ambiente**, v. 26, p. 106-120, 2020.
- RIBEIRO, R. S.; DIAS, G. P. Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de Cataguases (MG): levantamento do histórico de ocupação territorial e proposta para a expansão urbana. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 43, n. 2, p. 189-198, 2020.
- ROSS, J. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.
- SAATY, R. W. The analytic hierarchy process – What it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.
- SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, Holland, v. 48, n. 1, p. 9-26, Sep. 1990.
- SAATY, T. L. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. **RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**. v. 102, p. 251-318, 2008.
- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. Análise multicritério: modelos de interesse ambiental e de áreas propícias à expansão urbana na bacia do córrego do lenheiro. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 64, p. 60–77, 2017.
- SASAKI, J. K. et al. Seleção de Áreas Prioritárias para Instalação de Medidas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: o caso do bairro de Bodocongó em Campina Grande, PB. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 44, n. 1, p. 1-12, 23 jun. 2021.
- SCOPUS. Scopus Preview. Disponível em: <https://www.scopus.com/home.uri?zone=header&origin=>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- SICAR. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Disponível em: <https://www.car.gov.br/#/>>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- SILVA, J. C. L. da. Saneamento Básico e a Poluição Hídrica. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/saneamento-basico-poluicao-hidrica.htm>. Acesso em 27 de dezembro de 2023.
- SILVA, M. V. S. da; LIMA, A. M. M. de. Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-PA: evolução e impacto na urbanização. **Revista Cerrados**, v. 19, n. 01, p. 113–139, 2021.
- SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE-SISEMA, 2023. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SOUSA, B. A. A. de et al. Análise do crescimento urbano da cidade de Cajazeiras-PB através de imagens do RapidEye. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 9, p. 65020-65033, set. 2020.

SOUSA, L. R. et al. A influência do uso e ocupação do solo na qualidade ambiental do igarapé do Urumarí, Santarém (PA). **Brazilian Journal Of Development**, v. 7, n. 11, p. 105186-105208, 2021.

SOUSA, R. Desmatamento. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/o-desmatamento.htm>. Acesso em 27 de dezembro de 2023.

STELHLI, P. T.; WEBER, J. F.; VESTENA, L. R. Mapeamento dos bueiros na bacia do Rio Cascavel, cidade de Guarapuava, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 30490-30508, 2021.

VIEIRA, L. L.; VIEIRA, V. de C. B. Avaliação dos efeitos do novo plano de ordenamento territorial de Teresina/PI sobre seu potencial de ocupação e expansão urbana. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. 1-18, 2022.

ZAZYKI, M. A. D. et al. Relação entre a Urbanização Brasileira e o Direito de Propriedade. **Desenvolvimento em Questão**, [S.L.], v. 19, n. 54, p. 185-203, 16 mar. 2021.

ZIMMERMANN, D.; HIGASHI, R. A. dos R. Modelo SHALSTAB aplicado em bacias hidrográficas: análises em diferentes condições de ocupação urbana. **Revista Geociências**, v. 40, n. 03, p. 709-720, 2021.

# ANEXO A – APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS ANALISADAS ISOLADAMENTE

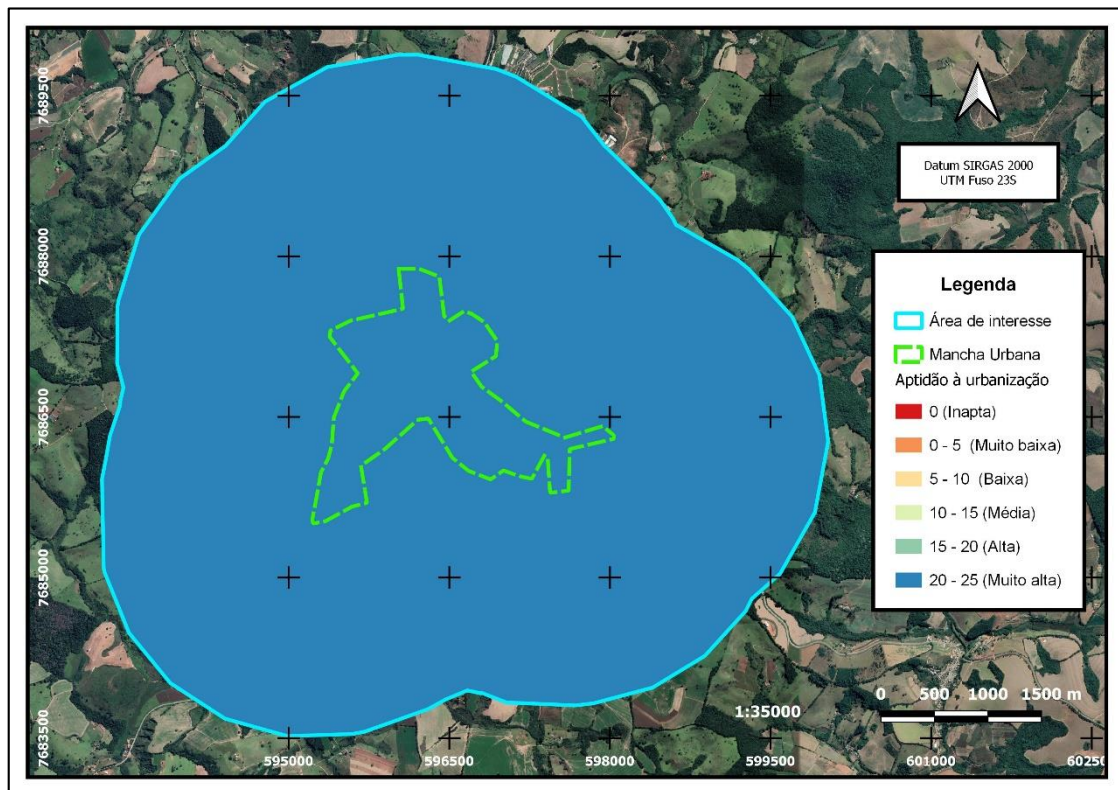


Figura 68 - Aptidão à urbanização das variáveis ADMCE, APPCB, CE, SR, TI e TQER para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

Definição: Áreas de Drenagem à Montante de Cursos d'água Enquadrados em Classe Especial (ADMCE), Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (APPCB), Corredores Ecológicos Legalmente Instituídos IEF/PBH (CE), que inclui os arquivos do Corredor ecológico Sossego-Caratinga e Corredor ecológico Serra do Curral-Espinhaço, Sítios Ramsar (SR), Terras indígenas FUNAI (TI) e Territórios Quilombolas e Raios de restrição a terras quilombolas Semad/INCRA (TQER).

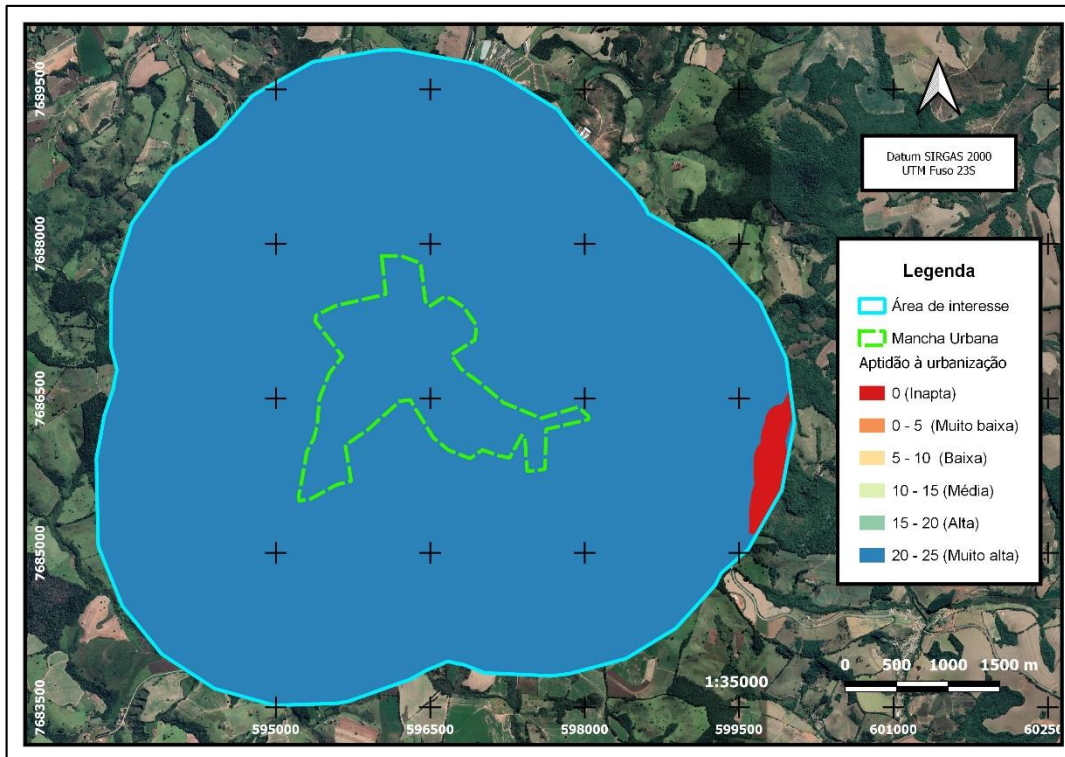


Figura 69 - Aptidão à urbanização da variável Áreas Protegidas (AP) para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

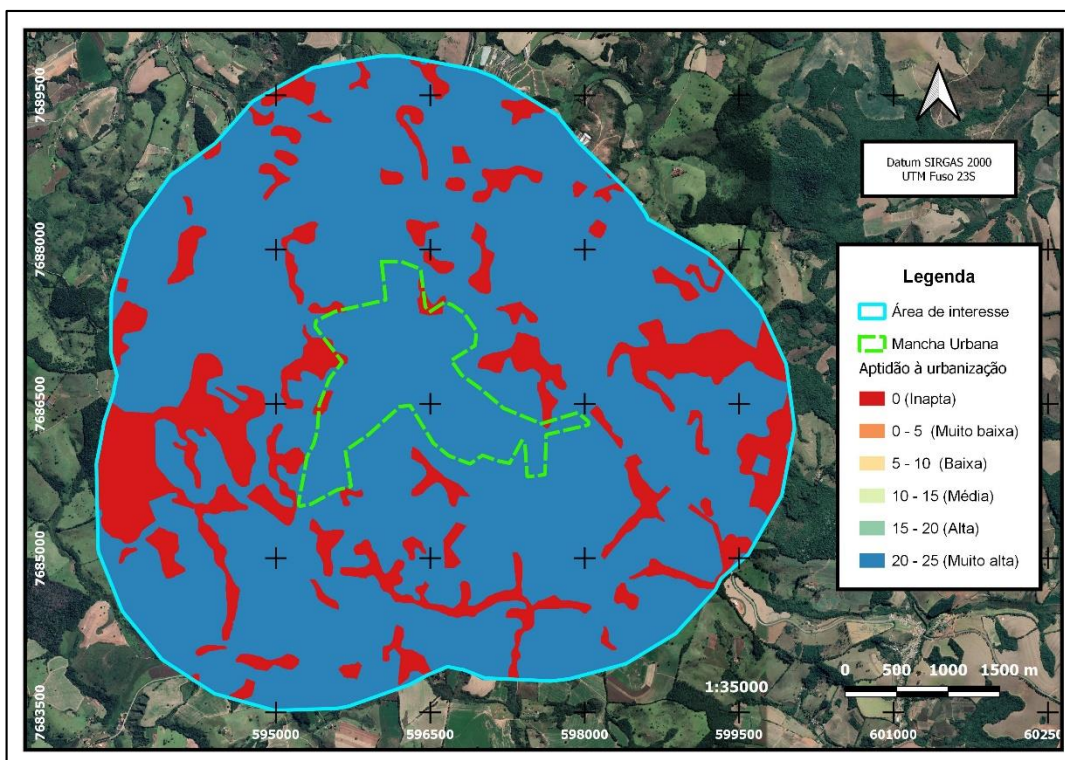


Figura 70 - Aptidão à urbanização da variável Cobertura da Mata Atlântica (CMA), para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

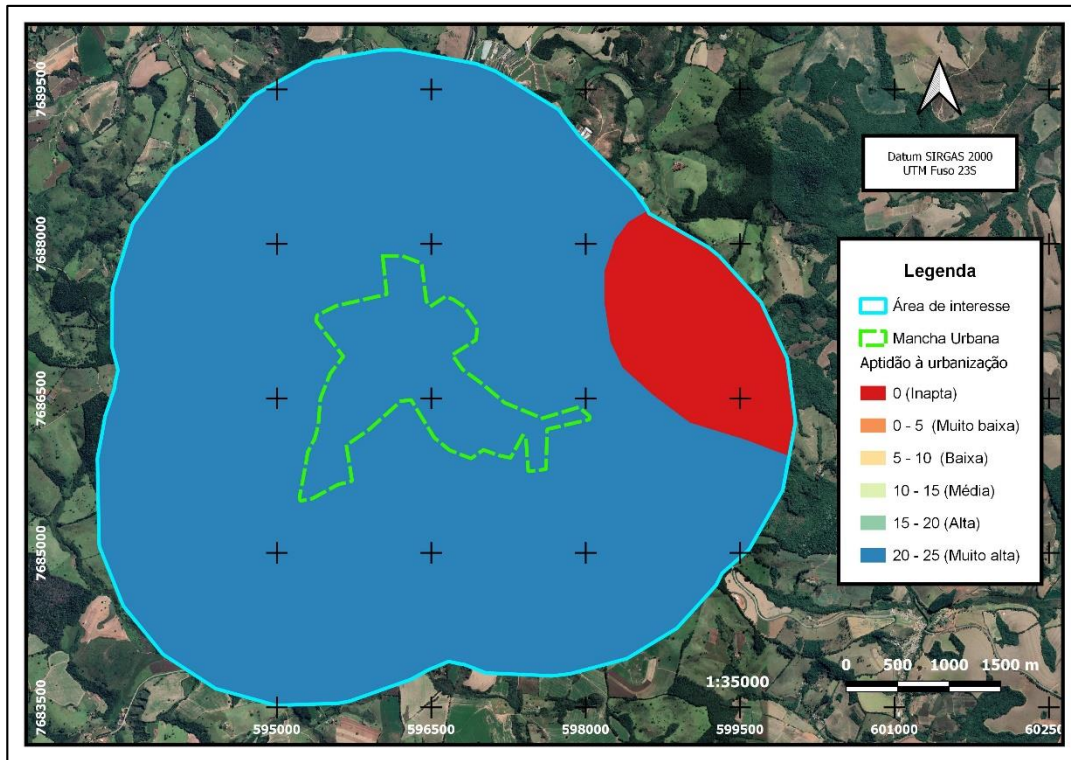


Figura 71 - Aptidão à urbanização da variável Reserva da Biosfera (RB) para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

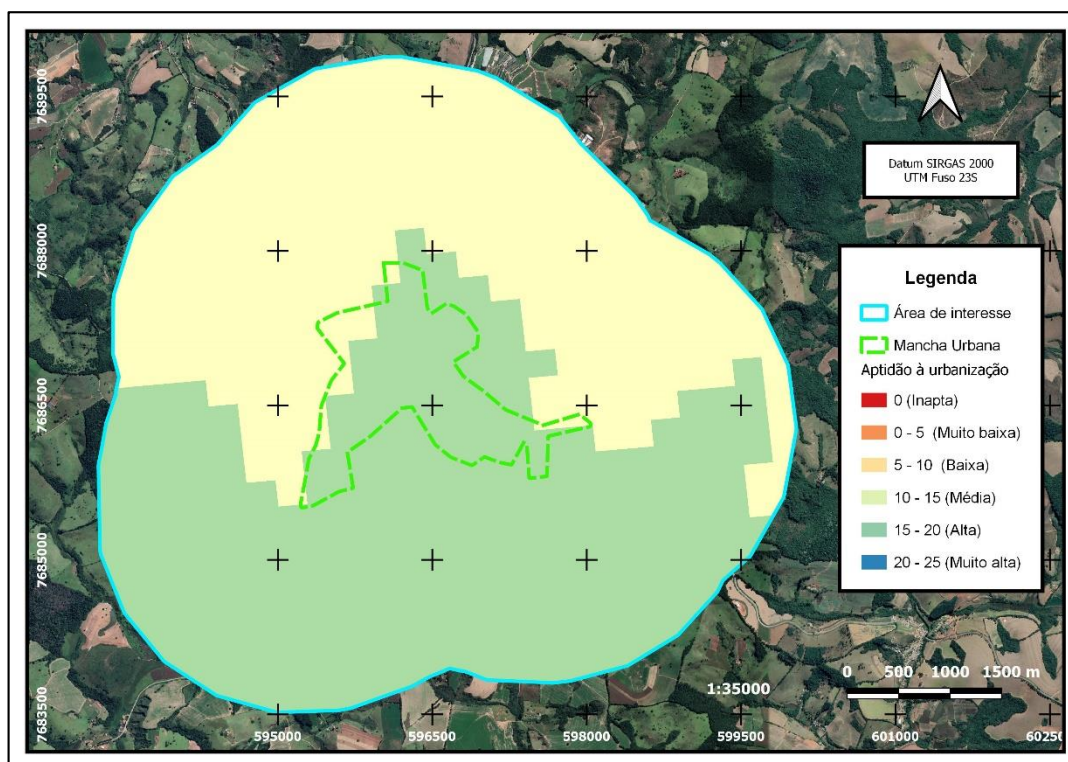


Figura 72 - Aptidão à urbanização da variável Vulnerabilidade natural dos recursos hídricos (VNRH) para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

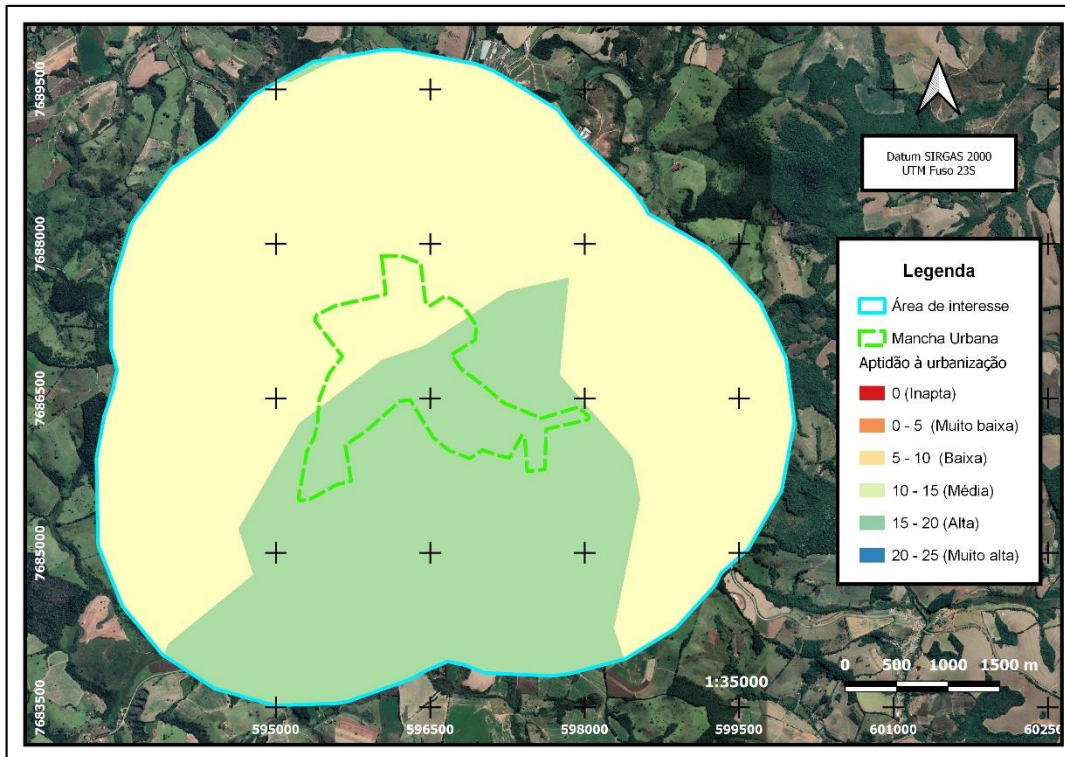


Figura 73 - Aptidão à urbanização da variável Área de influência inicial de cavidades e potencialidade de ocorrência de cavidades (AIPC) para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

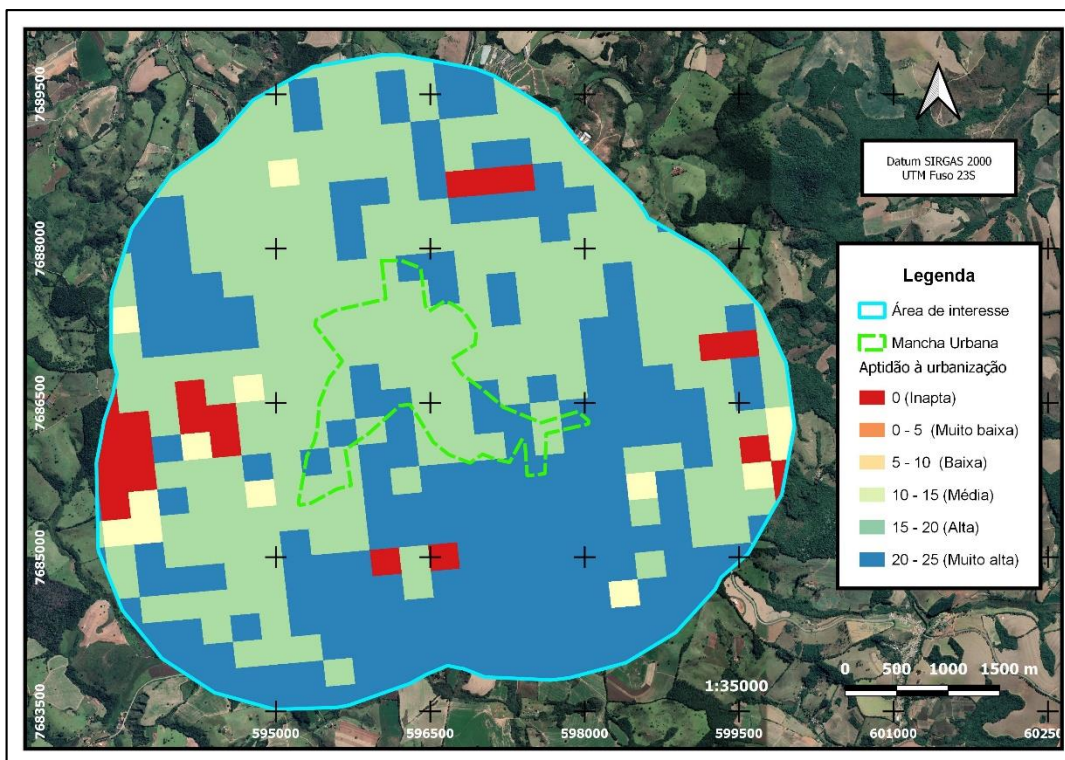


Figura 74 - Aptidão à urbanização da variável Áreas prioritárias para conservação (APPC) para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

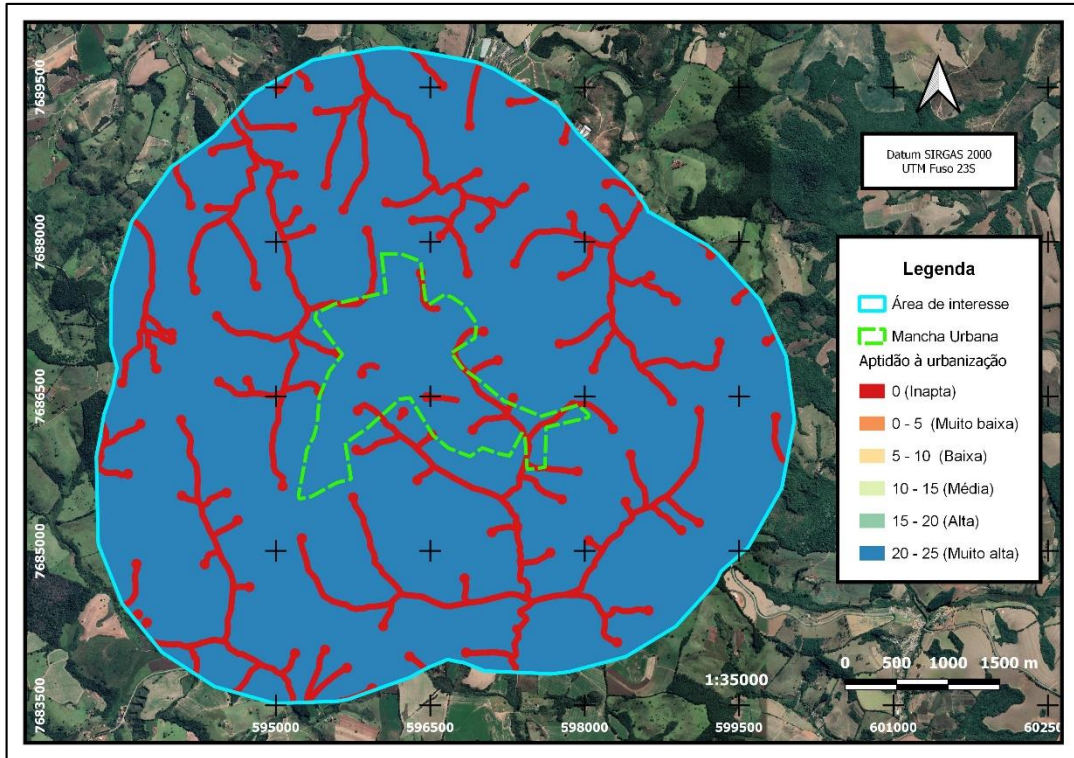


Figura 75 - Aptidão à urbanização da variável Área de Preservação Permanente (APP) para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

# ANEXO B – APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS CONSTRUTIVAS ANALISADAS ISOLADAMENTE

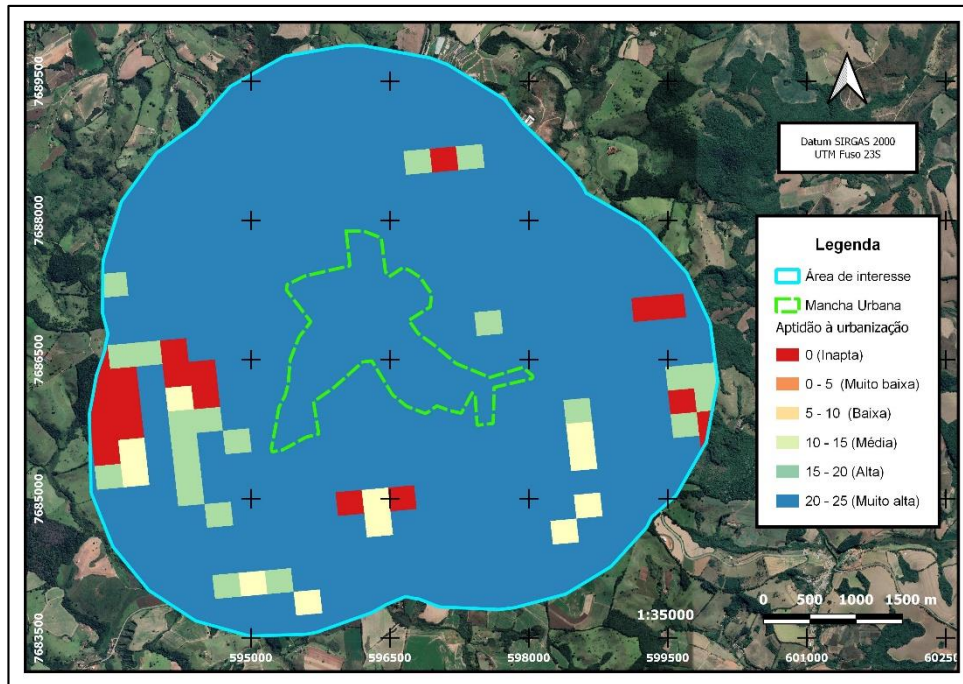


Figura 76 - Aptidão à urbanização da variável Áreas Prioritárias para Recuperação (APPR) para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

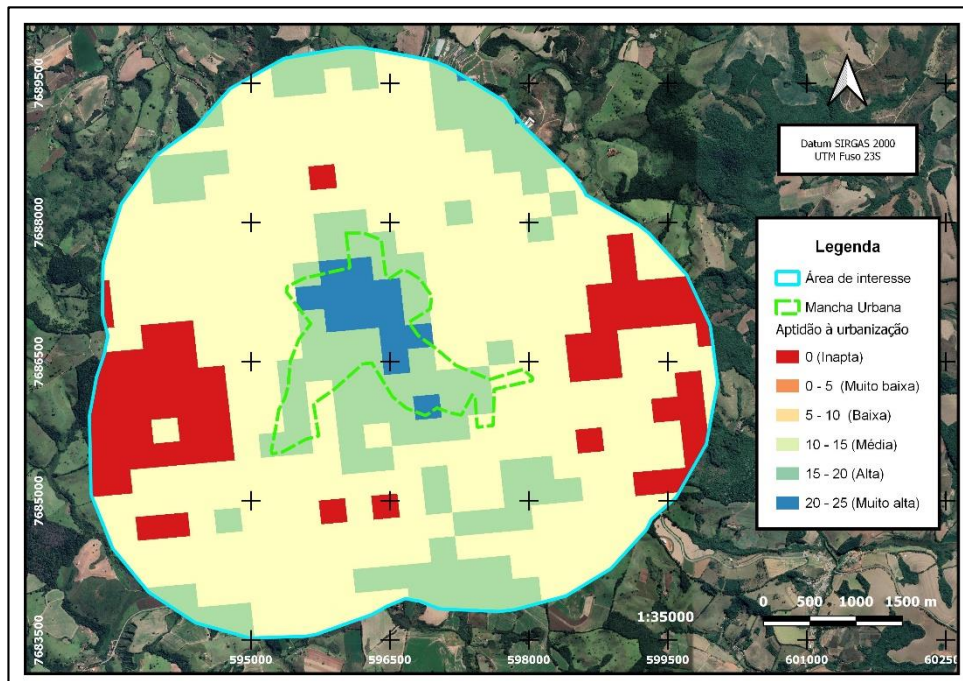


Figura 77 - Aptidão à urbanização da variável Exposição do solo (ES) para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

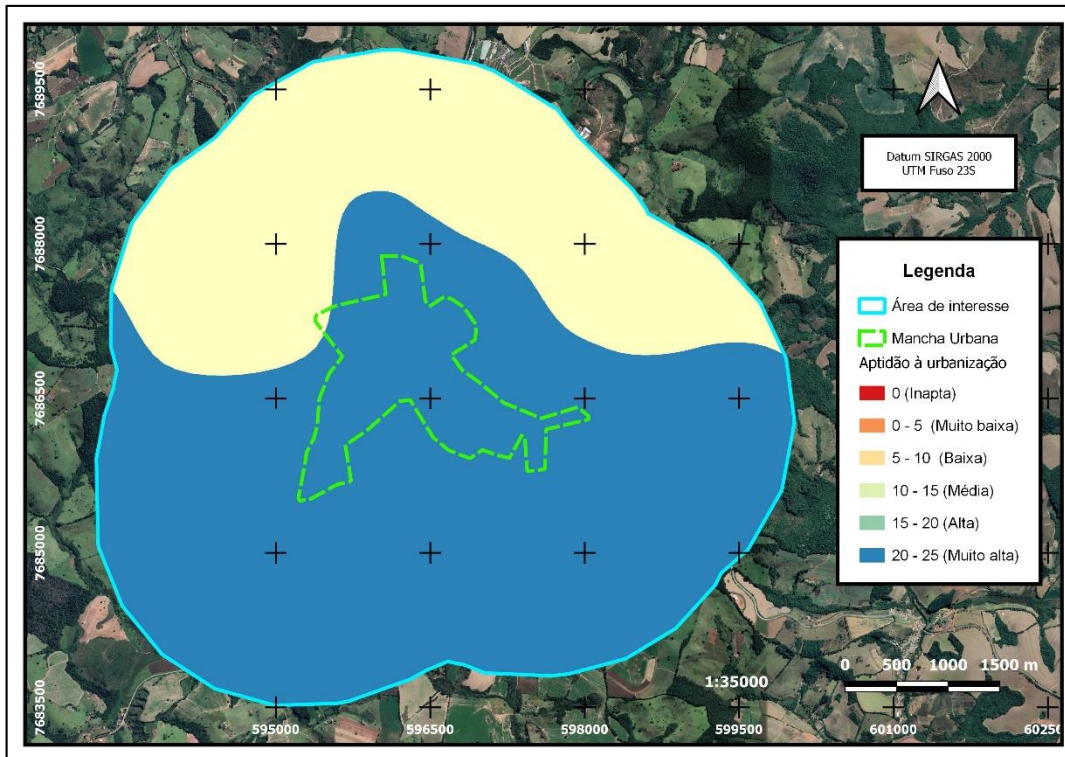


Figura 78 - Aptidão à urbanização da variável Mapa de solos (MS) para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

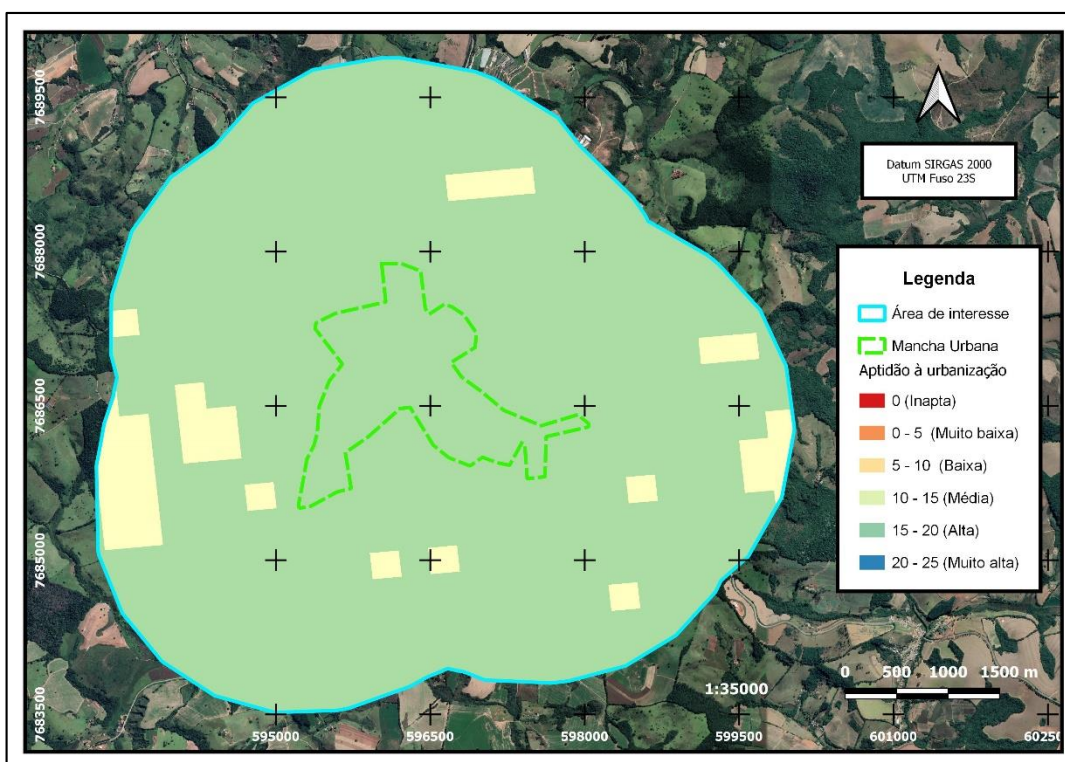


Figura 79 - Aptidão à urbanização da variável Qualidade ambiental (QA) para o município de Lagoa Dourada (MG).  
 Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

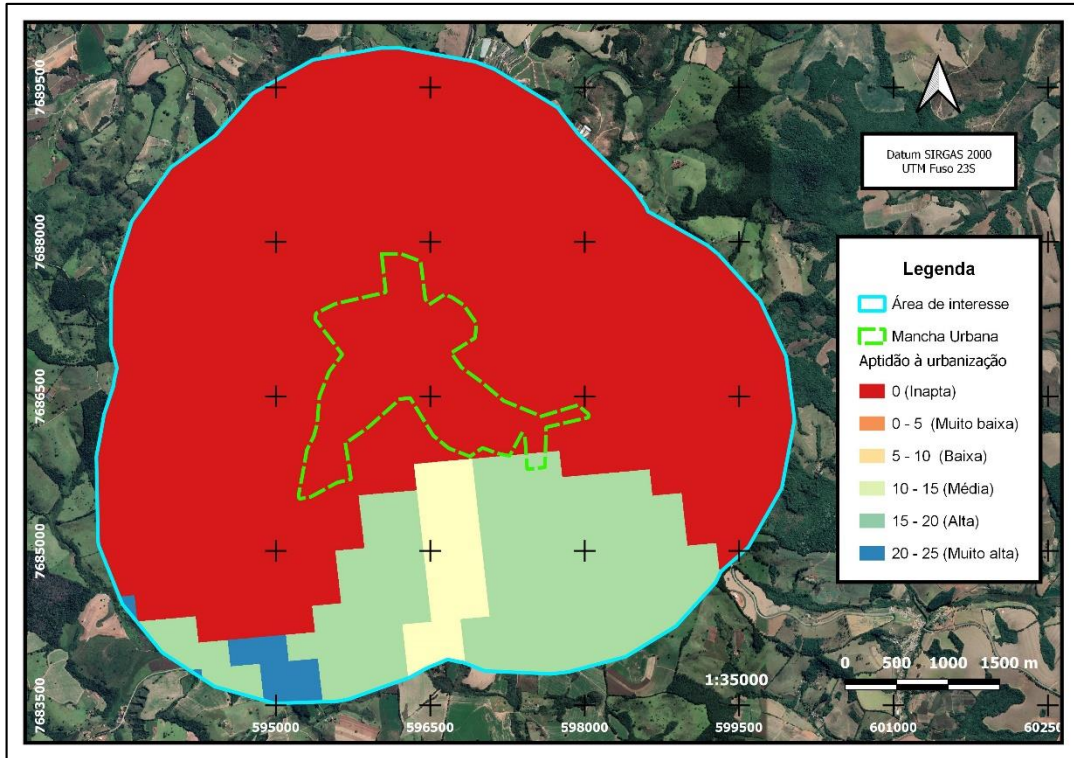


Figura 80 - Aptidão à urbanização da variável Vulnerabilidade do solo (VS) para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).

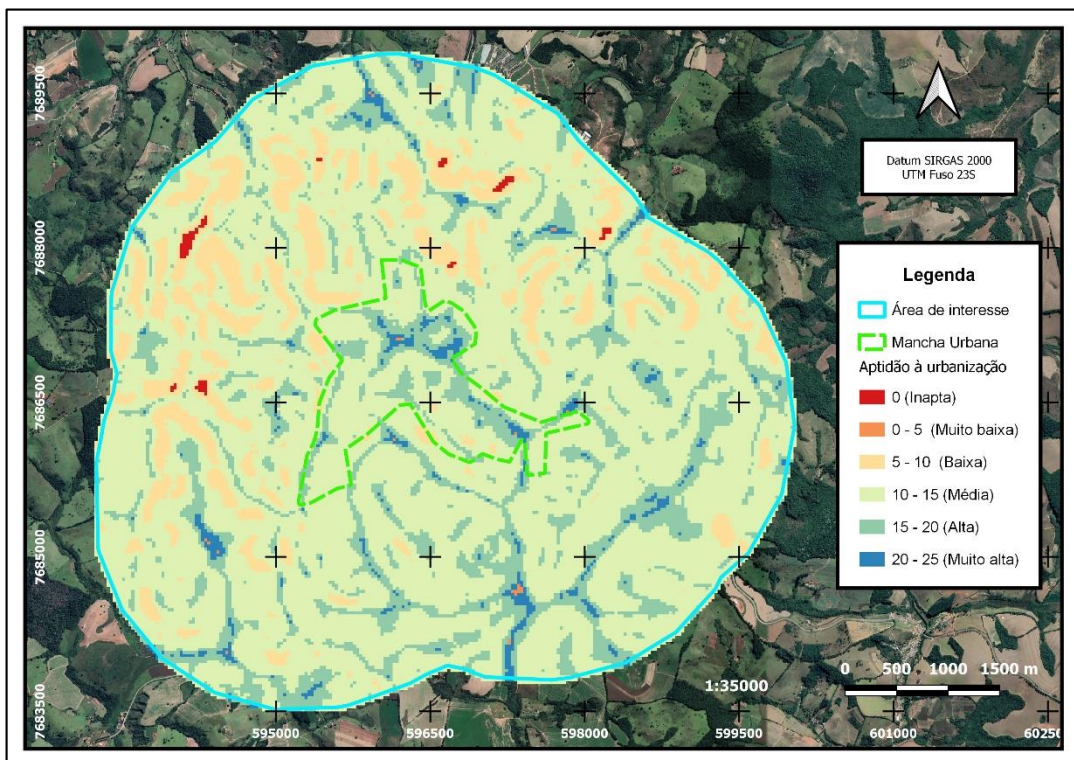


Figura 81 - Aptidão à urbanização da variável declividade para o município de Lagoa Dourada (MG).

Fonte: O autor, adaptado do Google Earth (2023) e SISEMA (2023).