

**Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais**

Fernanda Costa Ferreira

**MODELAGEM DA CAPACIDADE DE SUPORTE DA ÁREA CENTRAL DE SETE  
LAGOAS, MG: subsídios para gestão urbana**

Belo Horizonte  
2019

Fernanda Costa Ferreira

**MODELAGEM DA CAPACIDADE DE SUPORTE DA ÁREA CENTRAL DE SETE  
LAGOAS, MG: subsídios para gestão urbana**

**Versão final**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Úrsula Ruchkys de Azevedo

Belo Horizonte  
2019

F383m Ferreira, Fernanda Costa.

2019 Modelagem da capacidade de suporte da área central de Sete Lagoas, MG [manuscrito] : subsídios para gestão urbana / Fernanda Costa Ferreira. – 2019.

150 f., enc.: il. (principalmente color.)

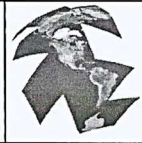
Orientadora: Úrsula Ruchkys de Azevedo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2019.

Bibliografia: f. 146-150.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Planejamento urbano – Sete Lagoas (MG) – Teses. 3. Solo – Uso – Sete Lagoas (MG) – Teses. 4. Carste – Teses. 5. Desenvolvimento sustentável – Teses. I. Ruchkys, Úrsula de Azevedo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**MODELAGEM DA CAPACIDADE DE SUPORTE DA ÁREA CENTRAL DE SETE LAGOAS, MG: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO URBANA**

### **FERNANDA COSTA FERREIRA**


Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 29 de abril de 2019, pela banca constituída pelos membros:

  
Prof. Úrsula Ruchkys de Azevedo - Orientadora  
UFMG

  
Prof. Paulo Henrique Ferreira Galvão  
UFOP

  
Prof. Ana Clara Mourão Moura  
UFMG

  
Prof. Adriana Monteiro da Costa  
UFMG

Belo Horizonte, 29 de abril de 2019.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu marido Mário, pelas serenas conversas que foram fundamentais à minha estabilidade emocional em dias difíceis. Também o agradeço por me auxiliar na realização das minhas tarefas da dissertação, buscando sempre apontar soluções quando me deparava com os contratempos.

Aos meus pais pelos valores que nos passaram, conscientizando à mim e as minhas irmãs sobre a importância da busca pelo conhecimento espiritual e intelectual, além de serem uma referência de força, persistência e determinação em nossas vidas.

À minha irmã Marcela, pelo o apoio e incentivo em tentar o mestrado, sobretudo pelas orientações durante o processo seletivo.

À minha irmã Renata e meu cunhado Edgar, pela acolhida carinhosa em sua casa em Belo Horizonte durante o período das disciplinas e pelos jantares com conversas descontraídas que ajudaram tornar esse momento mais leve.

À minha irmã Priscila, pelo palavras de incentivo e o auxílio na tradução do resumo em inglês.

À toda a minha família e amigos pela compreensão das minhas constantes ausências.

À minha orientadora Úrsula, por aceitar me acompanhar nesse desafio com parceria, respeito e compreensão acima de suas atribuições, pois ao longo desses dois anos, foi para mim além de uma excelente educadora, uma grande amiga.

Agradeço à todos os técnicos da Prefeitura Municipal de Sete Lagoas que me auxiliaram gentilmente com a disponibilização de dados e principalmente, os que dispuseram de seu tempo para me conceder orientações.

Aos companheiros da Secretaria de Obras de Sete Lagoas e ao ex-secretário Vitor, por me possibilitar a conciliação do cumprimento dos meus deveres de servidora pública com o mestrado.

Aos técnicos EMBRAPA, IEF, Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte, UNIFEMM e PBH (especialmente a arquiteta Luciana Moreira) pelas informações concedidas para enriquecer este trabalho.

À todos professores e profissionais que passaram por minha vida e que de alguma forma, foram uma inspiração para as minhas escolhas e para consolidação dessa trajetória, em especial a Prof. Ana Clara Moura por ser grande exemplo de profissional e por despertar em mim, o interesse no planejamento urbano e no geoprocessamento; aos técnicos da Secretaria de

Políticas Urbanas da PBH, por me mostrarem o verdadeiro papel do servidor público por meio da dedicação ao trabalho, da busca constante ao aprimoramento profissional e acima de tudo, pela consciência do dever do servidor público para com cidade e; aos amigos e parceiros do laboratório de geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG, com quem tive os primeiros contatos com as disciplinas de Ciências Exatas e da Terra.

Agradeço também aos amigos da Modelagem, à oportunidade de compartilhar comigo essa vivência e em especial à Erika, com quem pude dividir esses desafios de forma mais próxima.

Aos professores, Joel Rodet, Paulo Galvão e Leila Menegásse, que pacientemente me auxiliariam na missão de compreender o processo de formação do carste para embasamento da minha dissertação.

E por fim agradeço a Deus, por tornar possível essa realização, me concedendo a oportunidade e a força necessária para superar todos os desafios

## RESUMO

A dinâmica acelerada de crescimento e modificação dos espaços urbanos tem exigido maiores investimentos em gestão urbana e ambiental a fim de garantir uma conexão eficiente entre as duas áreas. O conceito base para a fundamentação dessa discussão é o da sustentabilidade, que é um dos principais temas debatidos mundialmente, cuja questão central é a importância em conciliar o desenvolvimento econômico à conservação ambiental. Somando-se a isso, surge a ideia de capacidade de suporte que tem sido muito discutida nos estudos urbanos municipais, pois tem como objetivo identificar se a densidade construtiva distribuída no espaço urbano é compatível com os recursos naturais e serviços de infraestrutura existentes na região. Assim, uma gestão urbana eficiente conta com leis municipais que são estruturadas a partir do potencial de recursos naturais do município, considerando a possibilidade de suprimento e de manutenção da qualidade de vida da população. Nesse sentido, o trabalho propõe avaliar se os parâmetros urbanísticos estabelecidos na Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) da cidade de Sete Lagoas, em Minas Gerais, são condizentes com a capacidade de suporte do território. Para isso, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento na manipulação dos dados, além do desenvolvimento de análises multicritérios que resultaram no mapeamento da síntese de capacidade de suporte para área central de Sete Lagoas, correspondendo ao centro e seus bairros limítrofes. Os resultados encontrados foram confrontados com a realidade espacial nos dias atuais e com possíveis cenários futuros estimulados pela própria legislação municipal. Detectaram-se algumas inconformidades urbanas existentes na área estudada, sendo as principais: a sobrecarga já existente no centro da cidade e no bairro Chácara do Paiva, impulsionada pelos próprios parâmetros urbanísticos da LUOS; e a capacidade de suporte satisfatória dos bairros nas porções noroeste e nordeste, ainda pouco explorada em termos de incentivo à ocupação urbana. Essa pesquisa foi aplicada apenas na área central da cidade, mas poderia, em outro momento, ser realizada em todo o território de Sete Lagoas para subsidiar a atualização das leis municipais e o mapeamento de estoques construtivos. Além disso, é possível utilizar o conhecimento deste trabalho como ferramenta de apoio na gestão urbana de outros municípios e na construção de trabalhos nas áreas de planejamento urbano e ambiental, proporcionando a melhoria na qualidade de vida das cidades por meio do desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Capacidade de suporte. Potencial de ocupação. Restrição ambiental. Densidade construtiva. Parâmetros urbanísticos. Região cárstica.

## ABSTRACT

The accelerated dynamics of growth and changing of urban spaces has demanded greater investments in urban and environmental management in order to ensure an efficient connection between the two areas. The basic concept for the reasoning of this discussion is about sustainability, one of the main topics debated globally, whose primary thread is the relevance of combining economic development with environmental protection. Furthermore, comes the idea of supporting capacity that has been widely discussed in municipal urban studies, as it aims to identify whether the constructive density-ratio allotted in the urban space is compatible with the natural resources and services of existing infrastructure in the region. Thus, an efficient urban management relies on municipal laws that are structured based on the potential of natural resources of the municipality, considering the population will have their needs being met through these resources as well as maintain a good quality of life. In this sense, the project suggests evaluating whether the urban parameter for occupation established in the Land Use Laws (LUOS) of the city of Sete Lagoas, Minas Gerais, are consistent with the supporting capacity of the land. For this purpose, geoprocessing techniques were applied in data manipulation, in addition to the development of multi criteria analysis that resulted in the mapping of the supporting capacity to the central area of Sete Lagoas, respective in the Centre of town and its neighborhoods. The outcomes were confronted with the current scenario of the space being studied and with possible future conditions spurred by the municipal legislation. Some urban inconsistencies were found in the analyzed area, the major ones being: the existing situation of densification in the Centre of town and in the Paiva's Characa neighborhood, that is driven by the LUOS urban parameters and the satisfactory supporting capacity of the neighborhoods in the northwest and northeast, still little explored in terms of encouraging urban occupation. This research was applied only in the central area of the city but could at another opportunity be applied throughout the territory of Sete Lagoas to subsidize the updating of municipal laws and the mapping of potential land use. Additionally, it is possible to use the knowledge of this project as a supportive tool in urban management of other municipalities and in the progress of work in the areas of urban and environmental planning, bringing improvements to the quality of life through sustainable development.

**Keywords:** Supporting capacity. Potential for construction. Environmental protection. Constructive density-ratio. Urbanistic parameters. Karst region.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo em Sete Lagoas.....	30
Figura 2: Pátio de mineradora localizada em Sete Lagoas que faz a extração de calcário para a construção civil.....	32
Figura 3: Poço artesiano público de extração de água localizado na área central de Sete Lagoas.....	33
Figura 4: Primeiro abatimento de terreno registrado em Sete Lagoas em 1988.....	34
Figura 5: Sumidouro localizado no fundo da Lagoa Grande.....	38
Figura 6: Gruta Rei do Mato, patrimônio espeleológico do município de Sete Lagoas.....	39
Figura 7: Maciço calcário com grutas localizado na porção sudeste de Sete Lagoas.....	40
Figura 8: Fluxograma geral dos mapas elaborados.....	44
Figura 9: Mapa do limite da área de estudo para análise ambiental e delimitação do recorte feito para a análise urbana.....	45
Figura 10: Fluxograma das variáveis usadas na álgebra que resultou o mapa de risco potencial à abatimento.....	46
Figura 11: Mapa geológico de Sete Lagoas.....	49
Figura 12: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de risco potencial à abatimento.....	56
Figura 13: Fluxograma das variáveis usadas na álgebra que resultou o mapa de áreas potenciais para recarga dos aquíferos.....	57
Figura 14: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de áreas potenciais para recarga dos aquíferos.....	64
Figura 15: Fluxograma das variáveis usadas na álgebra que resultou o mapa de restrições ambientais.....	65
Figura 16: Mapa de declividades de Sete Lagoas.....	67
Figura 17: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de restrição ambiental..	74
Figura 18: Fluxograma das variáveis usadas na álgebra que resultou o mapa de potencial de ocupação.....	75
Figura 19: Mapa de áreas de conservação de Sete Lagoas.....	78
Figura 20: Mapa de capilaridade e acessibilidade do sistema viário de Sete Lagoas.....	80
Figura 21: Mapa de concentração de transporte público de Sete Lagoas.....	82
Figura 22: Mapa da concentração de poços artesianos ponderado pela vazão específica.....	84

Figura 23: Mapa de densidade construtiva da área central de Sete Lagoas.....	86
Figura 24: Mapa de centralidades urbanas de Sete Lagoas.....	88
Figura 25: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de potencial de ocupação.....	95
Figura 26: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de capacidade de suporte.....	99
Figura 27: Afloramentos calcários localizados à sudeste e sudoeste de Sete Lagoas.....	101
Figura 28: Mapa de risco potencial à abatimento em Sete Lagoas.....	102
Figura 29: Mapa de áreas potenciais para a recarga dos aquíferos de Sete Lagoas.....	104
Figura 30: Maciço calcário com grutas localizado na porção sudeste de Sete Lagoas próximo ao córrego do Marinheiro.....	105
Figura 31: Lagoas cársticas e dolina identificadas em Sete Lagoas.....	106
Figura 32: Feições cársticas localizadas na região norte e nordeste de Sete Lagoas.....	106
Figura 33: Dolina mapeada no mapa de feições cársticas à nordeste de Sete Lagoas e outras que não foram consideradas no mapa mas foram identificadas por Imagem de Satélite.....	107
Figura 34: Mapa de restrição ambiental em Sete Lagoas.....	109
Figura 35: Imagens de Satélite do Google Earth Pro mostrando a Lagoa Grande nos anos de 2005, 2008 e 2018, respectivamente.....	110
Figura 36: APP's de alta restrição ambiental na região norte nas proximidades do loteamento Catavento.....	111
Figura 37: Áreas de restrição ambiental classificadas como média alta, localizadas na região nordeste de Sete Lagoas.....	112
Figura 38: Áreas de restrição ambiental classificadas como média e média alta, localizadas na região noroeste de Sete Lagoas.....	113
Figura 39: Áreas de restrição ambiental classificadas como alta e média alta, localizadas na região centro-oeste de Sete Lagoas.....	114
Figura 40: Fotos das áreas de restrição ambiental classificadas como alta e média alta, localizadas na região centro-oeste de Sete Lagoas.....	114
Figura 41: Áreas de restrição ambiental classificadas como alta e média, alta localizadas na região centro-leste de Sete Lagoas.....	115
Figura 42: Áreas classificadas como de restrição ambiental alta e média alta, localizadas na região sudeste de Sete Lagoas.....	116
Figura 43: Tipologia da região sul e sudeste do perímetro urbano de Sete Lagoas.....	116

Figura 44: Equipe da EMBRAPA e UFMG trabalhando na identificação das espécies de Faveiros-de-wilson em Sete Lagoas e na análise das condições favoráveis para o seu desenvolvimento.....	117
Figura 45: Áreas de restrição ambiental classificadas como alta e média alta, localizadas na região sul e sudoeste de Sete Lagoas.....	118
Figura 46: Mapa de potencial de ocupação da área central de Sete Lagoas.....	120
Figura 47: Localização de dois pontos da Av. Múcio José Reis.....	121
Figura 48: Equipamentos existentes nas proximidades do cruzamento entre a Av. Múcio José Reis e as Ruas Pedro Maciel e Goiás.....	121
Figura 49: Vista do supermercado Santo Antônio e SESC na Rua Professor Abeylard.....	122
Figura 50: Imagem da Rua Vista Alegre, interna ao bairro Nossa Senhora das Graças, com predominância de tipologias residenciais.....	122
Figura 51: Cruzamento ruas Professor Abeylard e Pedro Maciel.....	123
Figura 52: Trecho Av. José Sérvulo Soalheiro.....	123
Figura 53: Trecho Rua Santa Juliana.....	124
Figura 54: Eixos viários importantes.....	124
Figura 55: Cruzamento entre a Av. Randolpho Simões e Rua Santa Catarina.....	125
Figura 56: Bem imóvel cultural da região, Paróquia Santana e São Joaquim.....	126
Figura 57: Trechos das principais ruas da região central do mapa.....	126
Figura 58: Tipologias de edificações encontradas no centro da cidade e Bairro Chácara do Paiva.....	127
Figura 59 – Perímetros de tombamento de Sete Lagoas.....	128
Figura 60: Vista da margem esquerda da Lagoa José Félix com acesso à Av. Múcio José Reis.....	128
Figura 61: Mapa de capacidade de suporte da área central de Sete Lagoas.....	130
Figura 62: Destaque para as regiões noroeste e nordeste no mapa de capacidade de suporte...	131
Figura 63: Destaque para as regiões sudeste e sul no mapa de capacidade de suporte.....	132
Figura 64: Siderúrgica próxima ao bairro de Fátima.....	133
Figura 65: Contexto de localização dos terrenos públicos desocupados ou pouco edificados existentes no centro de Sete Lagoas.....	133
Figura 66: Regiões de conflito de interesses na área de estudo mapeada.....	135
Figura 67: Lagoas na região central de Sete Lagoas.....	136

Figura 68: Aplicação do coeficiente de aproveitamento.....	137
Figura 69: Representação do zoneamento na área de estudo.....	138
Figura 70: R Sobreposição do zoneamento na área existente ao mapa de capacidade de suporte.....	141
Figura 71: Síntese dos resultados por meio de comparação entre capacidade de suporte e LUOS: identificação das áreas com sobrecarga construtiva, as que estão em conformidade com lei municipal e as que poderiam ser melhor aproveitadas.....	143

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Etapas de desenvolvimento do trabalho.....	43
Tabela 2: Classes estabelecidas com método de fatiamento Natural Breaks para a concentração de poços artesianos no perímetro urbano de Sete Lagoas ponderados pela vazão específica com relação inversamente proporcional.....	47
Tabela 3: Classes estabelecidas com método de fatiamento Natural Breaks para densidade de abatimentos no perímetro urbano de Sete Lagoas.....	48
Tabela 4: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de concentração de poços artesianos ponderados pela vazão específica considerando o risco potencial à abatimento.....	51
Tabela 5: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de densidade de abatimentos considerando o risco potencial à abatimento.....	51
Tabela 6: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de feições cársticas considerando o risco potencial à abatimento.....	52
Tabela 7: Notas estabelecidas a cada critério do mapa fator de risco geológico considerando o risco potencial à abatimento.....	53
Tabela 8: Classificação atribuída aos valores encontrados na álgebra de mapas, que correspondem as áreas de risco potencial à abatimento no perímetro urbano de Sete Lagoas.....	55
Tabela 9: Classes definidas no mapeamento dos lineamentos estruturais da rocha por meio da ferramenta buffer com distinção por altimetria e declividade.....	58
Tabela 10: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de tipo de aquíferos considerando o potencial para a recarga dos aquíferos.....	60
Tabela 11: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de feições cársticas considerando o potencial para a recarga dos aquíferos.....	60
Tabela 12: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de lineamentos estruturais da rocha considerando o potencial para a recarga dos aquíferos.....	61
Tabela 13: Classificação atribuída aos valores encontrados na álgebra de mapas, que correspondem áreas potenciais para a recarga dos aquíferos no perímetro urbano de Sete Lagoas.....	63
Tabela 14: Classes estabelecidas com método de fatiamento manual para declividades do terreno no perímetro urbano de Sete Lagoas.....	67

Tabela 15: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de cobertura vegetal relevante considerando o nível de restrição ambiental.....	69
Tabela 16: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de áreas de proteção permanente considerando o nível de restrição ambiental.....	70
Tabela 17: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de risco potencial à abatimento considerando o nível de restrição ambiental.....	71
Tabela 18: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de áreas potenciais para a recarga dos aquíferos considerando o nível de restrição ambiental.....	72
Tabela 19: Classificação atribuída aos valores encontrados na álgebra de mapas, que correspondem áreas de restrições ambientais no perímetro urbano de Sete Lagoas.....	73
Tabela 20: Pesos estabelecidos às vias conforme a hierarquia viária atribuída na Lei Complementar nº 209.....	79
Tabela 21: Classes estabelecidas com método de fatiamento natural breaks para capilaridade e acessibilidade do sistema viário no perímetro urbano de Sete Lagoas.....	80
Tabela 22: Classes estabelecidas com método de fatiamento natural breaks para concentração de transporte público no perímetro urbano de Sete Lagoas.....	81
Tabela 23: Classes estabelecidas com método de fatiamento natural breaks para a concentração de poços artesianos no perímetro urbano de Sete Lagoas ponderados pela vazão específica com relação diretamente proporcional.....	83
Tabela 24: Classes estabelecidas com método de fatiamento manual para densidade construtiva da área central de Sete Lagoas.....	85
Tabela 25: Classes estabelecidas com método de fatiamento natural breaks para centralidades urbanas no perímetro urbano de Sete Lagoas.....	87
Tabela 26: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de áreas de conservação.....	89
Tabela 27: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de acessibilidade e capilaridade do sistema viário.....	90
Tabela 28: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de concentração de público.....	91
Tabela 29: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de concentração de poços artesianos ponderados pela vazão específica considerando a disponibilidade de acesso à água.....	91
Tabela 30: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de densidade construtiva da área central de Sete Lagoas.....	92

Tabela 31: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de centralidades urbanas.....	92
Tabela 32: Classes estabelecidas com método de fatiamento natural breaks para Potencial de Ocupação da área central de Sete Lagoas.....	94
Tabela 33: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de restrição ambiental considerando a capacidade suporte.....	96
Tabela 34: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de potencial de ocupação considerando a capacidade de suporte.....	96
Tabela 35: Matriz de conflito resultante da análise combinatória entre o mapa de restrição ambiental e o mapa de potencial de ocupação para a área central de Sete Lagoas.....	98

## LISTA DE SIGLAS

APA – Área de Proteção Ambiental

APP – Área de Proteção Permanente

CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

COMPAC – Conselho de Patrimônio Cultural

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

EEA - Estação Elevatória de Água

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETA – Estação de Tratamento de Água

IBGE - Instituto Brasileiro de Geociências

LUOS – Lei de Uso e Ocupação do Solo

MNEGRM - Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato

ODC – Outorga Onerosa do Direito de Construir

ONU- Organização das Nações Unidas

OUC – Operações Urbanas Consorciadas

PAN Faveiro-de-wilson - Plano de Ação Nacional para a Conservação do Faveiro-de-wilson

PBH – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

PMSL – Prefeitura Municipal de Sete Lagoas

SAAE - Serviço de Autônomo de Água e Esgoto

SMMA – Secretaria Municipal de Meio Ambiente

TDC – Transferência do Direito de Construir

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

ZAMP - Zonas das Ambiências dos Monumentos Paisagísticos Naturais

ZAE 1 - Zona de Atividades Econômicas 1

ZAE 2 - Zona de Atividades Econômicas 2

ZAE 3 - Zona de Atividades Econômicas 3

ZAPC - Zonas das Ambiências do Patrimônio Cultural

ZC - Zona do Centro Comercial

ZUR 2 - Zona de Uso Preferencialmente Residencial 2

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
2.1. Conceito de Capacidade de Suporte.....	21
2.2. Planejamento e gestão urbana: instrumentos legais.....	23
2.3. Caracterização das regiões cársticas.....	25
2.4. Impactos ambientais decorrentes da sobrecarga urbana.....	26
<b>3. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>30</b>
3.1. Localização geográfica.....	30
3.2. Crescimento econômico e populacional.....	31
3.3. Abastecimento público de água e conflitos urbanos.....	33
3.4. Contexto Geológico Local.....	35
3.5. Contexto Hidrogeológico Local.....	37
3.6. Belezas Naturais.....	39
<b>4. MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
4.1 Elaboração do Mapa de Localização da Área de Estudo.....	44
4.2. Elaboração do Mapa de Risco Potencial à Abatimento.....	45
4.2.1.Elaboração ou representação de mapas temáticos.....	46
4.2.2.Construção de tabelas.....	50
4.2.3.Transformação de camada vetorial em matricial.....	53
4.2.4. Álgebra de mapas.....	53
4.3.Elaboração do Mapa de Áreas Potenciais para Recarga dos Aquíferos.....	57
4.3.1.Elaboração ou representação de mapas temáticos.....	57
4.3.2.Construção de tabelas.....	59
4.3.3.Transformação de camada vetorial em matricial.....	62
4.3.4. Álgebra de mapas.....	62
4.4.Elaboração do Mapa de Áreas Potenciais para Recarga dos Aquíferos.....	65
4.4.1.Elaboração ou representação de mapas temáticos.....	65
4.4.2.Construção de tabelas.....	69
4.4.3.Transformação de camada vetorial em matricial.....	70
4.4.4. Álgebra de mapas.....	72

4.5. Elaboração do Mapa de Potencial de Ocupação.....	75
4.5.1. Elaboração ou representação de mapas temáticos.....	77
4.5.2. Construção de tabelas.....	88
4.5.3. Transformação de camada vetorial em matricial.....	93
4.5.4. Álgebra de mapas.....	93
4.6. Elaboração do Mapa de Capacidade de Suporte.....	96
4.6.1. Construção de tabelas.....	96
4.6.2. Álgebra de mapas.....	97
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>100</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>144</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>146</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico aliado ao êxodo rural no Brasil ocorrido de forma mais intensa na segunda metade do século XX, acentuou o processo de urbanização e industrialização nos centros urbanos brasileiros. Porém, nem sempre a dinâmica de crescimento das cidades é acompanhada por um ordenamento territorial, dada a rapidez com que o espaço urbano se modifica. Em virtude dessas características, Tickell descreve a cidade como um organismo vivo que absorve recursos e emite resíduos à todo momento (ROGERS, 2000, p ii).

Quando esse dinamismo vem associado à problemas de má gestão do espaço urbano, os efeitos negativos são incalculáveis, formando cidades com infraestrutura deficitária, sem conforto e qualidade de vida para seus habitantes.

Em 1992, o Rio de Janeiro foi sede da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e, desde então, o conceito de “Desenvolvimento Sustentado” criou força no Brasil. Atualmente, a busca por cidades sustentáveis tem sido um dos principais objetivos almejados, exigindo, por parte do poder público, maiores investimentos em planejamento urbano e ambiental, e conseqüentemente, a eficiência do ordenamento territorial urbano.

O conceito de “Desenvolvimento Sustentado” foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU) como sendo o "desenvolvimento social, econômico e cultural que atende as buscas do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras, nem tampouco os ecossistemas e os recursos naturais disponíveis" (GIOVANNETTI e LACERDA, 1996).

A preocupação crescente pela criação de espaços urbanos ecologicamente equilibrados está fortemente relacionada ao anseio de promover o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e os recursos naturais, de modo a garantir que o acesso à esses recursos se dê de forma prolongada alcançando o maior número de pessoas possíveis.

PINHEIRO (1995) traz uma nova abordagem nesse sentido, quando conceitua sustentabilidade como “a verificação minuciosa da capacidade de suporte do ambiente em razão desta ou daquela atividade produtiva”. Desde a antiguidade, Aristóteles e Platão já mencionavam sobre qual seria o tamanho ideal para a população de uma cidade, o que significa pensar o espaço considerando a relação entre a densidade e os seus recursos (MACHADO, 1999).

A ausência de planejamento urbano e ambiental pode causar sobrecarga na capacidade de suporte do meio urbano, tendo como consequências: a formação de enchentes, abatimentos de terreno, formação de ilhas de calor, contaminação de águas subterrâneas e superficiais, escassez de água para abastecimento do município, congestionamentos nas vias públicas, formação de ocupações irregulares, dentre outras coisas.

Uma gestão urbana eficiente conta com leis municipais que são estruturadas a partir do potencial de recursos naturais do município, considerando a possibilidade de suprimento e de manutenção da qualidade de vida da população. O potencial de densificação construtiva e populacional estabelecido na Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), também deve estar condicionado à capacidade do município em suprir demandas com equipamentos e serviços de infraestrutura de maneira satisfatória à todos os seus habitantes.

Este trabalho consiste na análise da capacidade de suporte do espaço urbano tendo como estudo de caso a cidade de Sete Lagoas, em Minas Gerais. A escolha da cidade se deu em função de suas altas taxas de crescimento populacional, comparado a média geral do Estado a que pertence, exigindo muita cautela na gestão territorial urbana, pois a expansão observada em Sete Lagoas, pode não ser condizente com limite dos seus recursos e com seu potencial de ocupação.

Nesse sentido, o trabalho em questão tem como objetivo geral, avaliar se os parâmetros urbanísticos estabelecidos na LUOS de Sete Lagoas correspondem com a capacidade de suporte do território. Assim, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento na manipulação dos dados, além do desenvolvimento de análises multicritérios que resultaram no mapeamento da síntese de capacidade de suporte para área central da cidade.

Foram estabelecidos dois limites de estudo para este trabalho, sendo a análise ambiental realizada para todo o perímetro urbano do município. Já o potencial de ocupação mapeado, se restringiu ao centro de Sete Lagoas e seus bairros limítrofes delimitado por meio de grandes corredores viários, devido à impossibilidade de se trabalhar com índices mais apurados para todo o território urbano.

Um aspecto que traz preocupação quanto à compatibilidade entre a capacidade de suporte e a distribuição espacial em Sete Lagoas, é o aparente adensamento construtivo na área central da cidade, localizada principalmente em terrenos cársticos, razão pela qual se priorizou mapear de forma mais detalhada essa área. Esses terrenos são formados por

rochas carbonáticas que se caracterizam por elevado grau de dissolução. Tal particularidade os tornam mais suscetíveis a erosão, ao colapso e a contaminação de aquíferos, dentre outros impactos.

A cidade depende diretamente dos poços artesianos para o abastecimento de água, sendo necessário, portanto, garantir a qualidade e a conservação de seus aquíferos por meio da gestão qualificada do abastecimento de água e do controle ao adensamento populacional em áreas que podem trazer riscos de contaminação aos lençóis freáticos.

O trabalho também contemplará os seguintes objetivos específicos:

i. identificar as áreas de risco à abastimento em Sete Lagoas e discutir qual o nível de restrição ambiental que elas possuem considerando os resultados deste trabalho;

ii. identificar as áreas potenciais para a recarga de aquíferos em Sete Lagoas e discutir qual o nível de restrição ambiental que elas possuem considerando os resultados deste trabalho;

iii. discutir o potencial de ocupação na área central de Sete Lagoas, considerando a qualidade dos serviços de infraestrutura e a densidade construtiva da área mapeada;

iv. identificar os locais na área central de Sete Lagoas com sobrecarga construtiva ou que poderiam ter um melhor aproveitamento considerando as restrições ambientais existentes e o potencial de ocupação da área;

v. em caso de inconformidade, discutir possíveis ajustes para tornar compatível os parâmetros urbanísticos da LUOS de Sete Lagoas com a capacidade de suporte encontrada neste trabalho para a área central da cidade.

A importância desse estudo é fornecer subsídios para conservar os recursos ambientais e culturais relevantes em Sete Lagoas, evitando a sobrecarga de áreas que não possuem capacidade de absorver alto potencial de ocupação, além de indicar à melhor direção para ocupação do espaço na região central da cidade, considerando áreas que sejam compatíveis com maior densidade construtiva e populacional.

Para alcançar os objetivos propostos, esta dissertação está estruturada em seis tópicos que são apresentados da seguinte forma: a) introdução, que compreende este primeiro tópico, trazendo a apresentação do tema com seus objetivos, justificativa da escolha da área de estudo e a forma como o trabalho foi estruturado; b) O tópico dois traz conceitos, pesquisas e legislações que foram utilizados como subsídio na construção do referencial teórico; c) o tópico três apresenta a caracterização da área estudo, contextualizando Sete Lagoas com o espaço físico no qual está inserida, além de trazer

aspectos socioeconômicos da cidade que justifiquem a dinâmica de expansão urbana; d) os métodos empregados na manipulação dos dados, foram apresentados no tópico quatro, por meio de tabelas, fluxogramas e fórmulas; e) o tópico cinco traz os resultados encontrados na pesquisa contextualizados com a realidade espacial da cidade; e f) as considerações finais que foram apresentadas no tópico 6, fazem uma síntese da importância deste trabalho e a avaliação da eficácia da metodologia empregada para o mapeamento da capacidade de suporte na região central de Sete Lagoas.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O tema capacidade de suporte tem sido bastante difundido nas políticas urbanas atuais. Ele está diretamente associado à ideia de desenvolvimento sustentável, pois conforme apresentado por MACHADO (1999), está “relacionado à manutenção de uma melhor qualidade de vida, à possibilidade de suprimento das populações com recursos da natureza e/ou à capacidade dos governos em atender as demandas por equipamentos e serviços de infraestrutura básica”.

Dessa forma, o desenvolvimento sustentado poderia ser compreendido como o resultado da aplicação eficiente do planejamento ambiental e urbano que tem como base a capacidade de suporte, correspondendo o ponto central do trabalho em questão.

Para modelar a capacidade de suporte da área central de Sete Lagoas fez-se necessário compreender os aspectos ambientais e urbanos que poderiam influenciar no resultado da análise, bem como os instrumentos legais capazes de estimular o processo de ocupação no território.

Considerando ainda a existência de solo cárstico na área urbana de Sete Lagoas, foi necessário entender as características dessa conformação geológica e os possíveis impactos ambientais causados pelas ações antrópicas em áreas cársticas.

### **2.1. Capacidade de suporte e sustentabilidade**

Entre 1950 a 1990, a população das cidades no mundo aumentou de forma significativa, passando de 200 milhões para mais de 2 bilhões de habitantes. A expectativa de crescimento da população nos centros urbanos, em geral, é preocupante se baseada na expansão demográfica ocorrida nas grandes cidades nos últimos anos. Essa urbanização intensa pode causar um crescimento exponencial no volume de recursos consumidos e na poluição gerada (ROGERS, 2001).

Um relatório divulgado pela ONU apresentou uma estimativa de que mais de 900 milhões de pessoas viviam em favelas em todo mundo no ano de 2016 (O GLOBO SOCIEDADE, 2016). Segundo ROGERS (2001), até aproximadamente 2030, pelo menos metade da população que vive nos centros urbanos de países em desenvolvimento estarão morando em favelas sem infraestrutura básica.

As estatísticas realizadas para mapear a progressão do crescimento populacional no mundo fazem previsões alarmantes quanto ao esgotamento dos recursos naturais e as

condições futuras de insalubridade dos centros urbanos. Dessa maneira, tem se tornado cada vez maior a preocupação com o desenvolvimento sustentável das cidades.

A ideia de desenvolvimento sustentável surgiu por meio do conceito de “ecodesenvolvimento”, proposto durante a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo, na Suécia, em 1972 (ONU, 2018).

Na conferência, reconheceu-se a necessidade de integração entre os conceitos de conservação ambiental e desenvolvimento industrial, além de discutirem os efeitos negativos causados pela falta de planejamento na utilização de recursos naturais (ONU, 2018).

A Segunda Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento que foi realizada em 1992 no Rio de Janeiro, transformou o conceito de desenvolvimento sustentável em um princípio orientador de ações. Os governantes criaram programas direcionados à romper com o modelo insustentável de crescimento econômico formalizado em um documento que ficou conhecido como Agenda 21. Desde então, várias iniciativas foram realizadas nesse sentido (ONU, 2018).

ESPINOSA (1993) esclarece “que os recursos naturais e os serviços derivados deles não são ilimitados” (apud MACHADO, 1999). Assim, a preocupação pela gestão adequada desses recursos e o planejamento que visa disciplinar seus usos tornaram-se novo paradigma estabelecido entre os países, com intuito de garantir uma forma de desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das próximas gerações de suprir às próprias necessidades (MACHADO, 1999).

Dessa maneira, a gestão dos recursos ambientais passa a ser relacionada ao conceito de capacidade de suporte ambiental, definido por JUNK (1995), como “a capacidade de um ecossistema ou de uma região suportar de forma sustentável um número máximo de população humana sob um dado sistema de produção” (apud MACHADO, 1999).

FILET (1995) acrescenta ao conceito, um aspecto espacial ao defini-lo como “a capacidade ou habilidade dos ambientes em acomodar, assimilar e incorporar um conjunto de atividades antrópicas sem que suas funções naturais sejam fundamentalmente alteradas em termos de produtividade primária” (apud MACHADO, 1999).

Assim, enquanto nos estudos ambientais, o conceito de capacidade de suporte está vinculado à condição de resiliência, nas análises urbanas, ele está relacionado à razão

entre infraestrutura urbana, aspectos físicos-ambientais, adensamento construtivo e populacional (VARGAS, 2013).

## **2.2. Planejamento e gestão urbana: instrumentos legais**

Para garantir a preservação das características ambientais e culturais relevantes no espaço urbano, evitando as saturações do tecido citadino, é importante controlar a capacidade de densificação de cada área da cidade, de acordo com as condições predominantes e as especificidades de sua capacidade de suporte, avaliando as condições de infraestrutura e o limite de recursos (PBH, 2015).

CARVALHO (2010) ressalta a importância de inserir o “viés ambiental no planejamento urbano, haja vista que as cidades são um dos principais usuários do ambiente natural”. Para autora, “é preciso reconhecer as cidades como consumidoras e degradadoras do ambiente natural e como recurso do ambiente construído, por isso a necessidade de um gerenciamento qualificado dos recursos e serviços urbanos”.

Nesse sentido, as legislações urbanas e ambientais são instrumentos eficientes para a aplicação de uma gestão urbana ordenada, em que diagnósticos bem fundamentos das condições reais do espaço podem ser usados como subsídio na elaboração de propostas e instrumentos legais.

Baseado nesse princípio, o Estatuto da Cidade estabelece em seu Art. 2º, inciso I, que uma das funções sociais da cidade e da propriedade urbana é a garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 2001).

A mesma lei regulamenta em seu Art. 4º, inciso III, a necessidade da elaboração de:

- planos nacionais, regionais e estaduais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social;
- planejamento das regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões;
- planejamento municipal.

Dentre os planos municipais, merece destaque o Plano Diretor, com seus parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo. Os índices e parâmetros urbanísticos são citados na Cartilha de Instrumentos do Plano Diretor do Rio de Janeiro

como “um conjunto de regras que devem ser aplicadas às construções com o objetivo de controlar o padrão de ocupação do solo na cidade” (PRJ, 2018).

Um desses instrumentos, conhecido como coeficiente de aproveitamento, interfere de forma expressiva na densidade construtiva do município, uma vez que ele representa o índice que define o direito edílico a ser exercido por um empreendimento em qualquer terreno, de acordo com o zoneamento a que pertence (PBH, 2015). Para se obter a área permitida a ser construída, multiplica-se o índice do coeficiente pela área do lote, conforme a equação abaixo:

$$Ac = Al \times ca$$

Sendo:

Ac – Área total construída

Al – Área do lote

ca – Coeficiente de aproveitamento

Esse direito edílico pode ser aumentado por meio de outros instrumentos do Estatuto da Cidade (BRASIL/2001), como a Outorga Onerosa do Direito de Construir (ODC), a Transferência do Direito de Construir (TDC) e as Operações Urbanas Consorciadas (OUC).

No caso da ODC, o plano diretor poderá fixar áreas nas quais o direito de construir poderá ser exercido acima do coeficiente de aproveitamento básico adotado, mediante contrapartida a ser prestada pelo beneficiário. Os recursos auferidos com a ODC são concedidos ao município (BRASIL/2001).

O TDC autoriza o proprietário de imóvel urbano, privado ou público, a exercer em outro local, ou alienar, mediante escritura pública, o direito de construir previsto no plano diretor ou em legislação urbanística dele decorrente. Os recursos, neste caso, vão para os proprietários dos imóveis que tiveram o direito de construir exercido em outro local ou alienado. Esse instrumento não pode ser aplicado em qualquer imóvel do município. As áreas que podem exercer ou receber o direito de construir são definidas pelo poder público (BRASIL/2001).

Considera-se OUC o conjunto de intervenções e medidas coordenadas pelo Poder Público municipal com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados, com o objetivo de alcançar em uma área, transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental (BRASIL/2001).

Assim como os instrumentos mencionados acima, a operação urbana também permite que seja exercido no empreendimento um potencial construtivo além do coeficiente de aproveitamento básico adotado. Porém, para que o direito edílico excedente não cause sobrecarga no espaço urbano, é preciso mapear a capacidade de suporte de cada área do município, de modo que esses índices sejam compatíveis com as condições urbano-ambientais do espaço.

Em Belo Horizonte, o coeficiente de aproveitamento básico foi definido como 1,0 para todo o município, sendo permitido o aumento do direito edílico acima desse índice, apenas por meio de instrumentos do Estatuto da Cidade, em áreas onde a capacidade de suporte seja compatível com o acréscimo de potencial construtivo.

Esse critério proposto na última revisão do Plano Diretor foi justificado pelos técnicos da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) em função da distinção existente entre o direito de propriedade e o direito de construir. Assim, ficou estabelecido que “a área construída inerente a cada lote, preserva a condição de usufruto da propriedade por seu dono e que os recursos arrecadados com o direito edílico adicional, devem ser direcionados à coletividade” (PBH, 2015).

Nesse sentido, a metodologia empregada no mapeamento da densidade construtiva no município de Belo Horizonte foi estabelecida pela razão do potencial praticado com área do lote.

### **2.3. Caracterização das regiões cársticas**

A palavra carste tem sua origem em uma região calcária na atual Eslovênia conhecida como *Kras*, onde foram realizados os primeiros estudos neste tipo de rocha. Em virtude disso, o termo original que era *kras*, posteriormente foi transformado na palavra *karst* da língua germânica dando origem depois ao vocábulo "carste" (SWEETING, 1973; FORD e WILLIAMS, 1989 apud HARDT et al., 2010).

Para CVIJIC (1960 apud HARDT et al., 2010), o calcário é uma rocha solúvel e permeável, que através da ação da água, forma uma série de feições típicas do carste, como dolinas (depressões fechadas), sumidouros, ressurgências e cavernas.

Mais tarde, o termo que era utilizado exclusivamente para regiões de rochas carbonáticas, passa a ser adotado para outros tipos de rochas que, através de processos químicos de dissolução, geram formas semelhantes às do carste carbonático, como: sal, gesso, arenitos e quartzito. Os pioneiros desta nova definição para o carste são RENAULT

(1953), MAINGUET (1972) e MARESCAUX (1973), que trabalharam na África, especialmente em rochas areníticas (apud HARDT et al., 2010).

O sistema hídrico em regiões cársticas ocorre por meio da interligação das águas entre os canais subterrâneos e a superfície. Com saída de água do meio subterrâneo para a superfície, podem ocorrer a formação de lagos de restituição. O processo inverso também pode acontecer quando represamentos naturais de água formados em áreas cársticas sofrem a drenagem por meio de sumidouros, alimentando o sistema hídrico subterrâneo (BERBERT-BORN, 2002).

A dolina é uma depressão fechada formada por relevos cársticos que tiveram origem na dissolução química de rochas calcárias ocorridas abaixo da superfície. Já o sumidouro é uma abertura natural que se comunica com a rede de condutos subterrâneos, onde a água adentra o subsolo (BERBERT-BORN, 2002).

O solo em regiões calcárias é poroso e funciona como um filtro natural que permite a recarga dos aquíferos. As águas também podem aparecer nas fissuras das rochas abastecendo os córregos das proximidades. Essa umidade que fica retida nas lapas proporciona a formação de uma vegetação densa sobre os maciços rochosos (ALVES e PINHEIRO, 2014).

Milhares de anos ocorrendo o processo de dissolução da rocha em contato com a água podem formar extensas cavidades naturais conhecidas como cavernas, capazes de abrigar inúmeras espécies de animais e plantas específicos deste habitat. Essas cavernas possuem valores ambientais e culturais fundamentais à compreensão do processo de formação do planeta.

#### **2.4. Impactos ambientais decorrentes da sobrecarga urbana**

O constante processo de dissolução sofrido pelas rochas carbonáticas, em virtude de suas propriedades químicas e pela percolação de águas superficiais e subterrâneas, tornam essas áreas mais vulneráveis a acidentes geológicos como abatimentos ou colapsos no solo.

Os abatimentos cársticos se manifestam de forma lenta ou abrupta e podem se desenvolver de maneira natural ou serem provocados e acelerados pelo uso inadequado do solo. O processo de subsidência corresponde ao movimento, relativamente lento, de afundamento de terrenos, devido à deformação ou deslocamento de direção, essencialmente, vertical descendente. O colapso apresenta a mesma definição, porém

corresponde à um movimento brusco do terreno (INFANTI JR. e FORNASARI FILHO, 1998).

OLIVEIRA (2010) destaca sobre os riscos existentes em áreas compostas por rochas carbonáticas cobertas por sedimentos inconsolidados:

*“A presença de cobertura de materiais inconsolidados (aluviões, colúvios e solos de alteração) sobre as rochas carbonáticas em dissolução tende a aumentar o significado geotécnico desse processo, quer seja pela ampliação física das áreas de afundamento, quer pelo próprio mascaramento de corpos carbonáticos, produzindo até mesmo terrenos de topografia mais suave em relação ao entorno e, conseqüentemente, podendo atrair usos mais intensos.”*

Além disso, determinadas atividades antrópicas podem causar ou acelerar o processo de abatimento em terrenos cársticos, sendo elas: construção civil, implantação de pedreiras, implantações de aterros sanitários, indústrias produtoras de agentes tóxicos, desmatamentos, captação de água subterrânea e superficial, alterações físicas, químicas e biológicas em parques turísticos, entre outras (VESTENA et al. 2002).

Em Tuzla, cidade localizada na Bósnia e Herzegovina, a extração de sal retirada do solo durante vários anos provocou deformações graves, surgindo fraturas profundas e superficiais no terreno. A cidade ainda possui uma taxa de afundamento de 10 a 20 cm/ano, o que levou ao colapso de vários edifícios, mesmo a atividade tendo sido interrompida há mais de 50 anos. Entre o período de 1956 a 2003 uma parte da região central da cidade afundou aproximadamente 12 metros. As conseqüências desse dano foram a destruição de mais de 2000 edifícios com o reassentamento de 15.000 habitantes (STECCHI et al., 2009; MANCINI et al. 2009).

Por isso, foram realizados estudos periódicos em Tuzla para tentar atenuar os impactos causados pela extração prolongada de sal. Em 2004, foi colocado na cidade um GPS estático com 6 estações e 60 pontos de densificação para monitorar a taxa de afundamento do solo. Além disso, foram realizadas perfurações de poços, resistividade geo-elétrica e levantamentos de refração sísmica, para investigar a presença e localização das estruturas deformadas. Detectou-se que a taxa de afundamento na cidade ainda é alta (STECCHI et al., 2009; MANCINI et al. 2009). Como resultado, foi elaborado um mapa para a cidade, com as áreas inadequadas à ocupação urbana através de Análises Multicritérios, cruzando os atributos: taxas de afundamento recentes, tendência recente de lençol freático e a presença de fraturas superficiais ou profundas (MANCINI et al. (2009).

Em trabalho sobre o crescimento insustentável do entorno da Bacia do Ebro, em Zaragoza na Espanha, GRACIA (2007) apresenta um estudo sobre o padrão mais apropriado para os futuros usos da terra no município, uma vez que não há no local, preocupações com questões geológicas e ambientais, tendo como consequências: a perda dos valores dos recursos naturais, da agricultura, desabamentos de terra e a contaminação de lençóis subterrâneos.

Parte de Zaragoza está localizada em cima de um depósito de gipsita, sendo este facilmente dissolvido. A cidade possui inúmeras dolinas em função das características do solo e por essa razão, muitos edifícios foram construídos em dolinas tampadas com entulho de construção. Porém, segundo a autora, esses edifícios poderão sofrer danos estruturais no futuro (GRACIA, 2007).

Para mapear os usos apropriados à Zaragoza, GRACIA (2007) fez o levantamento de características geomorfológicas e hidrogeológicas do município, cobertura do solo, propriedades do solo, clima, infraestrutura, áreas protegidas e que valem a pena proteger. A autora construiu várias matrizes de sobreposição de variáveis para chegar no resultado final.

Nos estudos de caso exemplificados acima, percebeu-se que os acidentes geológicos, muitas vezes, podem estar associados às ações antrópicas, sendo citadas como causas: o uso e ocupação inapropriados do solo, além da extração excessiva de sal e de águas do subsolo.

É importante ressaltar que a maior parte da água apropriada ao consumo humano está em meio subterrâneo, fazendo com que os aquíferos sejam fundamentais ao abastecimento em geral.

Os benefícios da utilização de águas subterrâneas sobre as superficiais seriam os menores custos com tratamento e implantação do sistema de captação dessa água, principalmente quando a fonte de retirada da água superficial é distante do local de abastecimento. Soma-se a isso, o fato de que os aquíferos sofrem menor influência com as variações climáticas, além de apresentarem grande proteção contra agentes poluidores, dentre outras coisas (ABAS, 2018).

Durante o percurso no qual a água percola entre os poros do subsolo e das rochas, ocorre a depuração dessa água por meio de uma série de processos físico-químicos e bacteriológicos que, agindo sobre ela, modificam as suas características adquiridas anteriormente, tornando-a particularmente mais adequada ao consumo humano (ABAS, 2018).

Como desvantagens, VARGAS (1999) define os aquíferos como recursos “não renováveis”, pois considera “a capacidade de autodepuração da água subterrânea como lenta e limitada, tornando inviável o seu tratamento em caso de contaminação”. BOTELHO (2008) ainda ressalta as fragilidades do sistema, em que o uso indiscriminado pode acarretar rebaixamento do lençol freático e colapsos nas superfícies dos terrenos em virtude da circulação da água retirada de dentro do conduto subterrâneo.

Contudo, o aumento da população nos centros urbanos aliado à crescente demanda industrial e agropecuária têm exigido, cada vez mais, a melhoria na gestão hídrica por meio de estudos e investimentos tecnológicos na área. Tais inovações podem contemplar desde medidas como reutilização de água tratada e captação de água pluvial, até mesmo a busca pela ampliação do conhecimento hidrogeológico para o uso controlado e seguro das águas subterrâneas.

No caso de municípios que dependem dos aquíferos para o abastecimento de água, uma alternativa seria utilizar os parâmetros urbanísticos em favor da preservação desses aquíferos, estabelecendo índices mais restritivos quanto à ocupação em áreas próximas à recarga.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. Localização geográfica

A área de estudo compreende o perímetro urbano do município de Sete Lagoas, MG, localizado à aproximadamente 72 km da capital mineira. Sete Lagoas possui 237.286 habitantes e uma área de 536,64 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018). Já a área do perímetro urbano é de 179,32 km<sup>2</sup> (PMSL, 2017) (Figura 1).

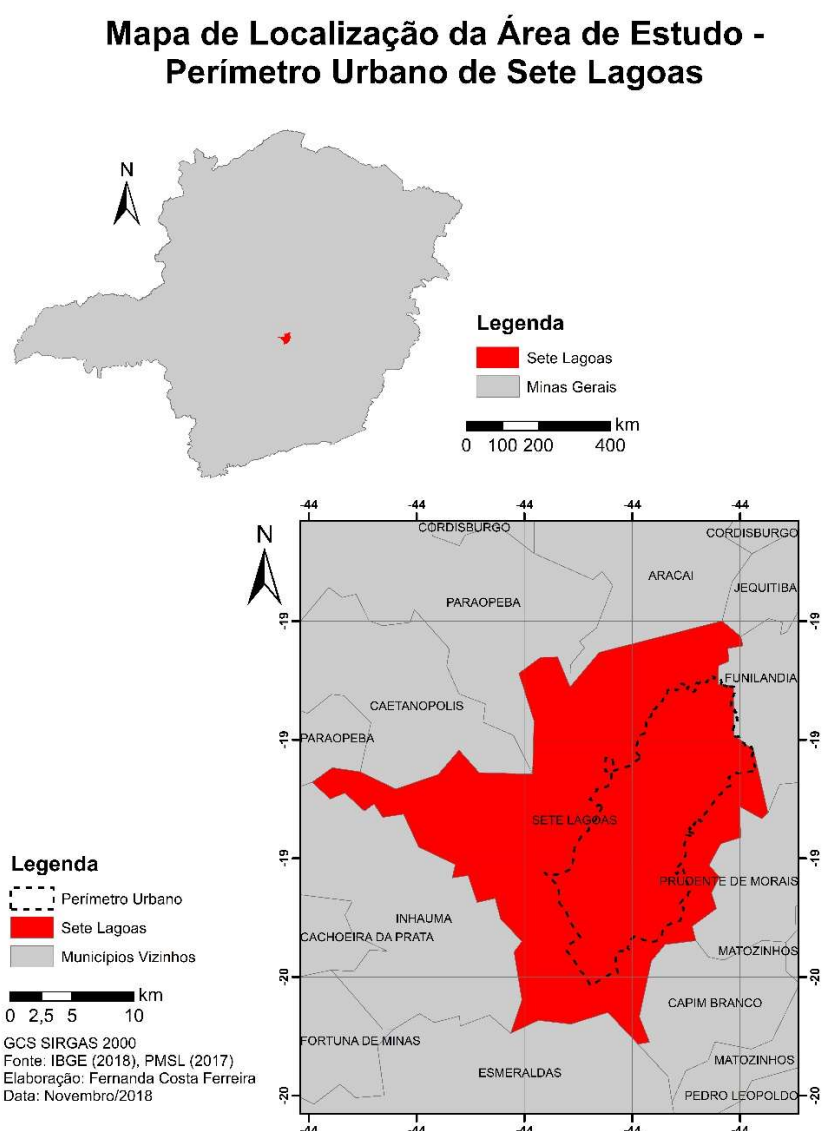


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo em Sete Lagoas

### 3.2. Crescimento econômico e populacional

Sete Lagoas representa um dos principais polos de concentração industrial do Estado de Minas Gerais, registrando altas taxas de crescimento econômico (LANDAU et al. 2011). O crescimento médio populacional é de 2,44% ao ano (IBGE, 2010), índice superior ao encontrado na Região Metropolitana de Belo Horizonte (2,09%) e da média do Estado (1,15%) (BARROS et al., 2007).

O município foi fundado em 1880, mas apenas no final do século XIX, após a implantação da rede ferroviária, foi que a cidade se transformou economicamente (LANDAU et al., 2011). Em 1886 com vinda das indústrias têxteis Cedro e Cachoeira Tecidos, sua economia sofreu novamente grande impulso (LANZA, 1967).

Ao longo do século XX, Sete Lagoas teve um crescimento expressivo no setor de agroindústria. Na década de 1950, a produção de ferro-gusa ganhou destaque na economia da região, sendo seu apogeu nas décadas de 1980 e 1990, concedendo à Sete Lagoas o status de cidade média (LANDAU et al., 2011 e SANTOS, 2016).

Após a década de 1960, diversas indústrias se instalaram na cidade, dentre elas: Itambé, Bombril, Elma Chips, Caterpillar, etc. Destaque-se outras duas grandes indústrias, Iveco implantada em 2000 e Ambev em 2008, responsáveis pela ampliação do parque industrial de Sete Lagoas e a geração de milhares de empregos diretos e indiretos (LANDAU et al., 2011). As atividades de extração de calcário também ganharam destaque no município, em virtude da concessão de uso do solo dada às mineradoras para o estabelecimento de pedreiras em algumas áreas de afloramentos calcários, localizadas tanto no perímetro urbano como em áreas rurais (PMSL, 2017) (Figura 2).



Figura 2: Pátio de mineradora localizada em Sete Lagoas que faz a extração de calcário para a construção civil. (Fonte: Viviane Guimarães, PMSL 2017)

Assim, as altas taxas de crescimento populacional em Sete Lagoas coincidem com a história do seu desenvolvimento econômico expressivo, exigindo por parte do poder público constantes investimentos na infraestrutura urbana e a ampliação da rede abastecimento de água potável, sobretudo para atender as demandas das indústrias e sistemas de irrigação do agronegócio.

### **3.3. Abastecimento público de água e conflitos urbanos**

Durante muitos anos, o abastecimento hídrico em Sete Lagoas foi feito exclusivamente pela extração de água dos aquíferos. Recentemente, foi construída uma Estação de Tratamento de Água (ETA), inaugurada em 2016, para a captação de água do Rio das Velhas, que também passou a ser fonte de abastecimento de alguns bairros da cidade.

A captação de água subterrânea é feita por meio de 106 poços tubulares profundos (aproximadamente 150 m de profundidade), que é bombeada até as Estações Elevatórias de Água (EEA), onde é feito o tratamento por simples desinfecção através de cloração. Os poços públicos são gerenciados pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) (Figura 3). Além desses, existem outros inúmeros poços particulares cadastrados na

Prefeitura Municipal de Sete Lagoas (PMSL), mas que são de responsabilidade dos proprietários (GALVÃO et al., 2015).



Figura 3: Poço artesiano público de extração de água localizado na área central de Sete Lagoas. (Fonte: SAAE, 2013)

A exploração intensa de água subterrânea ao longo de vários anos provocou o rebaixamento do lençol freático localizado abaixo da área central da cidade, coincidindo com a localização dos colapsos ocorridos em Sete Lagoas.

O primeiro colapso registrado foi no ano de 1988, quando um buraco de aproximadamente 22 metros de diâmetro e 6 metros de profundidade surgiu no bairro Santa Luzia próximo ao centro da cidade, sendo necessário interditar parcialmente um quarteirão e retirar os moradores (Figura 4). Este colapso prejudicou parte das arquibancadas do Estádio Municipal da cidade, muros e paredes de edificações próximas e os sinais de movimentação do colapso foram observados em edificações situadas em um raio de 40 metros (SILVA, 1988).



Figura 4: Primeiro abatimento de terreno registrado em Sete Lagoas em 1988. (Fonte: Silva, 1988)

Outros dezesseis colapsos foram registrados e mapeados pela prefeitura, sendo todos localizados na área central de Sete Lagoas, onde existem os poços artesanais mais antigos e as maiores taxas de densidade construtiva. Além disso, o relevo nessa área é composto por uma camada de sedimentos não consolidados do Período Cenozoico, sobrepostos a rochas calcárias, bastante suscetíveis a colapsos (GALVÃO et al., 2015).

Destaque-se o trabalho produzido em Sete Lagoas, em que GALVÃO et al. (2015) mapearam o risco potencial de colapso no município, através de 5 níveis de categorias de risco, sendo eles: negligenciável, baixo, moderado, considerável e alto risco. Segundo os autores, a maior parte da área urbana de Sete Lagoas se encontra na área de alto risco. As variáveis utilizadas na análise foram: litologia, extração de água subterrânea, profundidade de superfície potenciométrica e proximidade com registros de abatimentos ocorridos no município.

Os autores mostram que grande parte da área central de Sete Lagoas encontra-se inserida em um graben preenchido por rochas carbonáticas e cobertos por uma camada de sedimentos inconsolidados. O contato direto entre a camada de materiais inconsolidados e o calcário pode favorecer o processo de intemperismo das rochas, potencializando esses colapsos (GALVÃO et al. 2015).

A Av. Renato Azeredo, localizada no centro da cidade, foi o ponto com maior número de registro de colapsos, sendo que dos dezessete, cinco ocorreram nela. Assim,

têm sido desenvolvidos trabalhos acadêmicos e estudos por parte de órgãos públicos, incluindo a Prefeitura de Sete Lagoas com o intuito de garantir a segurança de seus habitantes e evitar a ocorrência de outros colapsos.

### **3.4. Contexto geológico local**

O contexto geológico influencia diretamente no nível de recarga do aquífero, uma vez que o tipo de rocha e suas especificidades podem permitir maior ou menor absorção de água em função de características como, potencial de permeabilidade da rocha ou intemperismo sofrido por ela.

Considerando que o abastecimento da cidade se dá principalmente por meio da extração de água nos poços artesianos, foi imprescindível compreender o contexto geológico para mapear as regiões que possuem maior acesso à água. Além disso, a ocorrência de colapsos em Sete Lagoas aponta para a necessidade da análise geológica do solo na área de estudo no que diz respeito ao planejamento urbano.

O município de Sete Lagoas é constituído essencialmente pelas rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, sobrepostas ao embasamento gnáissico-migmatítico, o qual se apresenta localmente cortado por diques básicos e veios de quartzo-feldspáticos de extensão regional (TULLER et al. 1992).

O embasamento gnáissico-migmatítico, também denominado por alguns autores como complexo cristalino de Belo Horizonte, abrange cerca de 20% da superfície do município, aparecendo predominantemente na região sul de Sete Lagoas (PESSOA, 1996). Ele é caracterizado por rochas ígneas e metamórficas como granitos, gnaisses ou rochas duras com a presença de zonas de cisalhamento (PESSOA, 1996; GALVÃO et al., 2016) (Figura 9).

As fraturas presentes neste complexo são mais frequentes junto às zonas migmatizadas, sendo preenchidas por calcita ou veios de quartzo-feldspáticos e pegmatóides (PESSOA, 1996). Essas fraturas são responsáveis pelo processo de recarga no embasamento cristalino, que pode ser dificultado em função do preenchimento existente nelas.

As formações pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí existentes na região de estudo compreendem: sequência carbonática da Formação Sete Lagoas; as rochas clásticas de granulação fina da Formação Serra de Santa Helena como siltitos, filitos, ardósias e

margas; e uma pequena porção de calcários oolíticos provenientes da Formação Lagoa do Jacaré (TULLER et al., 2010 e GALVÃO et al. 2016).

A Formação Sete Lagoas representa cerca de 25% das rochas aflorantes do município (PESSOA, 1996). Ela foi dividida em dois membros, denominados Membro Pedro Leopoldo (calcários mais impuros) e Membro Lagoa Santa (calcários mais puros) (TULLER et al. 1992; PESSOA, 1996). Essa camada de rochas aflora, principalmente, nas áreas central e oeste do município. À nordeste, os calcários mergulham e se tornam mais espessos, sendo cobertos quase que totalmente pela Formação Serra de Santa Helena (GALVÃO et al., 2016).

A Formação Serra de Santa Helena é abundante no território, ocupando aproximadamente 55% da superfície de Sete Lagoas. (GALVÃO et al., 2015). Ela é constituída por lentes delgadas de calcário e ardósia calcíferas esverdeadas, sendo as lentes carbonáticas correspondentes a calcarenitos finos de cor escura e preta. Além disso, o pacote é extremamente laminado e apresenta grande quantidade de veios de quartzo, seguindo a laminação ou preenchendo as fraturas (TULLER et al. 1992; PESSOA, 1996 e GALVÃO et al., 2016).

Outro aspecto relevante à respeito da Formação Serra de Santa Helena, é que esta, situa-se imediatamente sobre a Formação Sete Lagoas, geralmente por meio de contatos abruptos e discordantes (PESSOA, 1996). Esporadicamente, encontram-se algumas áreas aflorantes de calcário, representando resquícios de uma erosão diferenciada, principalmente aos pés da serra (TULLER et al. 1992; PESSOA, 1996; BOTELHO, 2008). Essa formação torna-se mais espessa ao nordeste de Sete Lagoas e contém planos de acamamento que afundam nessa direção, e mais finos nas bordas da bacia e próximo ao rio das Velhas. Ela pode atingir 160 m de espessura, vistas no norte de Sete Lagoas e no cume da serra (GALVÃO et al., 2016).

A pequena porção do território composta pela Formação Lagoa do Jacaré, encontra-se a noroeste do município, com espessura média de 25 metros (TULLER et al. 2010; GALVÃO et al. 2016).

Sete Lagoas também possui uma extensa área da superfície do município composta por coberturas superficiais que compreendem depósitos colúvio-aluvionares datados no Cenozoico, período Quaternário (PESSOA, 1996). Essa cobertura pode ser dividida em três tipos formações: cobertura de detritos, terraços aluviais e aluviões (GALVÃO et al. 2015; GALVÃO et al. 2016). A sua espessura é menor em comparação com as outras formações geológicas. Essa litologia encontra-se principalmente ao norte e

na parte central de Sete Lagoas, que corresponde a sua área urbanizada. Também pode ser percebida em trechos à oeste do município, com valores aproximados de 40 m de espessura, podendo chegar a 5 m ao longo dos córregos (GALVÃO et al. 2016). Os sedimentos provenientes dessa formação são o resultado do intemperismo e da erosão da Serra de Santa Helena. (GALVÃO et al., 2016).

### **3.5. Contexto hidrogeológico local**

Existem fatores que podem contribuir de forma mais expressiva na recarga dos aquíferos como, a presença de feições cársticas ou de lineamentos na rocha. No caso de Sete Lagoas, por exemplo, o calcário é bem antigo, por isso sua permeabilidade se torna menor, pois os poros foram preenchidos por quartzo ou outros tipos sedimentos. Portanto, nessas condições, a passagem da água ocorre principalmente nos pontos de abertura das rochas que podem ocorrer por meio de sumidouros, cavernas, dolinas ou lineamentos.

O lineamento é uma “feição isolada ou conjunto de feições de topografia, de drenagem ou de variação de tonalidade em imagem ou em mapa topográfico que se apresenta como um alinhamento e que reflete elementos da estrutura geológica” (WINGE, 2019).

Dentre as estruturas que podem ser refletidas nos lineamentos tem-se, “direções de camadas da rocha, xistosidade, falha, cinturão de cisalhamento ou sistema de fraturas” (WINGE, 2019).

No caso da Formação Serra de Santa Helena, a recarga não é satisfatória pois além de sua conformação geológica pouco permeável, as fraturas existentes na área foram preenchidas por veios de quartzo e calcita. Assim, nem mesmo a existência de lineamentos poderiam garantir uma recarga eficiente para os aquíferos dessas áreas (PESSOA 1996; GALVÃO et al. 2016).

Em Sete Lagoas, percebe-se a existência de algumas lagoas que comunicam com regime dos aquíferos, sendo uma das principais formas de abastecimento das águas subterrâneas da região. BOTELHO (2008) cita como exemplo, as lagoas Grande, dos Porcos, dos Remédios, da Capivara e Feia.

A Prefeitura Municipal de Sete Lagoas tem realizado estudos nas lagoas Grande e Matadouro após ter conhecimento da existência de sumidouros no fundo delas, percebidos em períodos de estiagem (Figura 5). Além disso, na Relação de Bens Tombados e Inventariados do município, documento elaborado pelo Conselho Municipal

de Patrimônio Cultural de Sete Lagoas (COMPAC), consta na categoria de sítios arqueológicos e espeleológicos, o registro das lagoas Grande, Piranhas e Capão do Poço (COMPAC, 2016).



Figura 5: Sumidouro localizado no fundo da Lagoa Grande. Fonte: Registro feito por técnicos do SAAE e da Secretaria de Meio Ambiente, PMSL (2017)

PESSOA (1996) explica o processo de formação dessas lagoas cársticas por meio da hipótese de que nas rochas que não são cársticas, o processo de dissecação fluvial começa a entalhar seus talwegues nas zonas coincidentes aos traços de fratura, ocasionando a dissolução dos carbonatos que estão cobertos, desenvolvendo-se feições embutidas e mascarando entalhes superficiais, como ocorre em alguns pontos à nordeste do município em que existem calcários cobertos pela Formação Serra de Santa Helena. Tal formação é a segunda com maior densidade de fraturamentos na área de estudo, coincidindo em alguns casos com os vales dos cursos d'água predominantemente localizados nas porções de declividade baixa (PESSOA, 1996).

Sobre as estruturas geológicas, PESSOA (1996) afirma que as mais importantes são materializadas por feixes e alinhamentos de fraturas. O autor também explica que o estudo detalhado de suas formas de distribuição, direção e comprimento auxiliam no entendimento da dinâmica que rege o sistema hídrico subterrâneo. Tal análise, segundo PESSOA (1996), leva ao possível entendimento de que as inúmeras lagoas existentes na área de estudo, alinhadas na mesma direção, de sudoeste para nordeste, podem indicar a zona de maior índice de dissolução da rocha calcária.

Porém, o autor não descarta a associação de tais feições à uma provável superimposição tectônica, já que estes alinhamentos correspondem a um grupo expressivo dentre as fraturas detectadas na Formação Sete Lagoas, cujo comprimento sobressai perante as das demais direções (PESSOA, 1996).

### 3.6. Belezas naturais

Sete Lagoas ainda possui grandes extensões de matas silvestres preservadas, principalmente na porção sul do perímetro urbano, onde existe uma concentração maior de cursos d'água e relevos acidentados.

Além disso, ao todo, existem cadastradas 86 cavidades naturais no município, sendo algumas delas protegidas pelo Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato (MNEGRM) (SANTOS et al. 2014). A gruta principal, que dá origem ao nome do parque, é uma das maiores de Minas Gerais, com aproximadamente 998 metros de extensão, sendo de acesso ao público apenas 220 metros, percorridos por meio de passarelas e escadarias que descem cerca de 30 metros de profundidade (Figura 6).



Figura 6: Gruta Rei do Mato, patrimônio espeleológico do município de Sete Lagoas. (Fonte: Registro feito Júlia Rolim, 2017)

A Gruta Rei do Mato foi registrada na Relação de Bens Tombados e Inventariados no Município de Sete Lagoas, pela categoria de sítios arqueológicos e espeleológicos (COMPAC, 2016). Ela está localizada fora do perímetro urbano, assim como inúmeras

outras cavidades naturais. Porém, existem alguns maciços calcários com grutas situados próximos à área urbana, mas que são em terrenos particulares e não abertos à visitação pública (Figura 7).



Figura 7: Maciço calcário com grutas localizado na porção sudeste de Sete Lagoas (Fonte: João Herbert, 2017)

A região sudeste de Sete Lagoas também possui muitos recursos naturais, como maciços calcários cobertos por matas nativas e áreas de cobertura vegetal ainda bastante preservadas. Além disso, nessa região foi possível identificar 33 espécies de Faveiros-de-wilson, desde indivíduos adultos à brotações.

O Faveiro-de-wilson (*Dimorphandra wilsonii* rizzini – Fabaceae) é uma espécie arbórea criticamente em perigo de extinção, que requer ações de conservação urgentes para a sua sobrevivência, devido ao seu tamanho populacional atualmente bastante reduzido, com apenas 246 indivíduos adultos. Por isso, foi criado um plano de conservação da espécie, estabelecendo um nível de proteção nacional aos indivíduos existentes, dentre eles, os 33 identificados em Sete Lagoas (PAN Faveiro-de-wilson, 2014).

#### 4. MÉTODOS

O método utilizado na elaboração do Mapa de Capacidade de Suporte para a área central de Sete Lagoas baseou-se em tecnologias de geoprocessamento e modelos de análise espacial, por meio da aplicação de Análise Multicritérios.

A metodologia da Análise Multicritérios é baseada na álgebra de mapas com a combinação de variáveis para a construção de sínteses que podem auxiliar na identificação de áreas prioritárias para algum fenômeno (MOURA, 2007; BRANDINI, 2014). A combinação entre as variáveis pode acontecer por meio de dois métodos: Peso de Evidências e Análise Combinatória, ambos utilizados neste trabalho.

O resultado do método de Peso de Evidências é um mapa que represente um *ranking* dos dados não evidenciados de forma individual, gerando uma hierarquização de valores do menos ao mais importante, sem destaque específico de qualquer aspecto (ROCHA et al., 2018).

Já a Análise Combinatória consiste na combinação par-a-par das variáveis a partir do julgamento do significado da presença de determinados fatores de modo simultâneo no território, até se chegar a um produto final (ROCHA et al., 2018).

No trabalho em questão, o Mapa de Capacidade de Suporte foi a síntese do cruzamento de dois conjuntos de variáveis: restrições ambientais e potencial de ocupação (Figura 26). A álgebra que resultou no mapa final foi uma análise combinatória onde as decisões sobre como atuar na área de estudo, são consequências da interpretação de combinações das variáveis utilizando uma matriz de conflito (ROCHA et al., 2018).

O método de Peso de Evidências foi utilizado na elaboração do Mapa de Restrições Ambientais por meio do cruzamento entre as seguintes camadas: risco potencial à abatimento, áreas potenciais para a recarga de aquíferos, cobertura vegetal relevante e áreas de proteção permanente (Figura 17).

Para elaborar o Mapa de Potencial de Ocupação foram cruzadas em análise multicritérios, usando o Peso de Evidências, as seguintes variáveis: áreas de conservação, acessibilidade e capilaridade do sistema viário, concentração de transporte público, concentração de poços artesianos, densidade construtiva e centralidades urbanas (Figura 25).

Esta metodologia foi baseada no Estudo de Capacidade de Suporte realizado para Belo Horizonte e apresentado na IV Conferência Municipal de Política Urbana (PBH,

2015). Porém, foram feitas algumas adaptações, pois Sete Lagoas é uma cidade de médio porte onde a intensidade da expansão urbana e seus impactos ainda são menos agressivos do que na capital mineira. Portanto, alguns aspectos considerados para o estudo de Belo Horizonte como, concentração da população de baixa renda, a tendência de substituição de casas ou prédios baixos por outros mais altos, teriam efeitos pouco significativos sobre a análise de Sete Lagoas porque não fazem parte da realidade urbana setelagoana.

O contexto geológico bem específico da região, composta por grandes maciços calcários e outras feições características do carste, também foi considerado. Nesse sentido, foram realizadas algumas mudanças na análise.

Em virtude da escassez de dados na área de estudo, nem todas as variáveis utilizadas para Belo Horizonte foram mapeadas para Sete Lagoas, como: áreas suscetíveis à inundação, áreas suscetíveis à escorregamento, nascentes, edificações verticais, dentre outras. Nessas situações foram estabelecidas outras variáveis que pudessem apresentar uma equivalência na análise.

Os processos metodológicos foram descritos separadamente por etapas, sendo que algumas delas subdividem-se em outras que serão detalhadas ao longo deste tópico (Tabela 1). A forma como os mapas se agruparam, de maneira a possibilitar a elaboração do Mapa de Capacidade de Suporte, é apresentada no fluxograma abaixo (Figura 8).

Tabela 1: Etapas de desenvolvimento do trabalho

<b>4.1) Elaboração do Mapa de Localização da Área de Estudo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delimitação de área de estudo para análise ambiental correspondente ao perímetro urbano de Sete Lagoas;</li> <li>• Delimitação de área de estudo para análise urbana correspondente à área central de Sete Lagoas.</li> </ul>
<b>4.2) Elaboração do Mapa de Risco Potencial à Abatimento</b>
4.2.1) Elaboração ou representação de mapas temáticos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboração do Mapa de Concentração de Poços Artesianos Ponderados pela Vazão Específica – Razão inversa;</li> <li>• Elaboração do Mapa de Densidade de Abatimentos;</li> <li>• Elaboração do Mapa de Feições Cársticas;</li> <li>• Vetorização do Mapa Geológico resultado de estudo hidrogeológico (PMSL, 2013) com metodologia descrita em Galvão et al. (2015);</li> <li>• Vetorização do Mapa Fator de Risco Geológico apresentado em Galvão et al. (2015).</li> </ul>
4.2.2) Construção de tabelas com as notas atribuídas à cada critério
4.2.3) Transformação de camada vetorial em matricial
4.2.4) Álgebra de mapas para elaboração do Mapa de Risco Potencial à Abatimento
<b>4.3) Elaboração do Mapa de Áreas Potenciais para Recarga de Aquíferos</b>
4.3.1) Elaboração ou representação de mapas temáticos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representação do Mapa de Tipos de Aquíferos, resultado de estudo hidrogeológico (PMSL, 2013);</li> <li>• Elaboração do Mapa de Lineamentos Estruturais da Rocha.</li> </ul>
4.3.2) Construção de tabelas com as notas atribuídas à cada critério
4.3.3) Transformação de camada vetorial em matricial
4.3.4) Álgebra de mapas para elaboração do Mapa de Áreas Potenciais para Recarga de Aquíferos
<b>4.4) Elaboração do Mapa de Restrição Ambiental</b>
4.4.1) Elaboração de mapas temáticos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboração do Mapa de Cobertura Vegetal Expressiva;</li> <li>• Elaboração de Mapa de Declividades;</li> <li>• Elaboração do Mapa de Áreas de Proteção Permanente.</li> </ul>
4.4.2) Construção de tabelas com as notas atribuídas à cada critério
4.4.3) Transformação de camada vetorial em matricial
4.4.4) Álgebra de mapas para elaboração do Mapa de Restrição Ambiental
<b>4.5) Elaboração do Mapa de Potencial de Ocupação</b>
4.5.1) Elaboração de mapas temáticos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboração do Mapa de Áreas de Conservação;</li> <li>• Elaboração do Mapa de Acessibilidade e Capilaridade do Sistema Viário;</li> <li>• Elaboração do Mapa de Concentração de Transporte Público;</li> <li>• Elaboração do Mapa de Concentração de Poços Artesianos Ponderados pela Vazão Específica – Razão direta;</li> <li>• Elaboração do Mapa de Densidade Construtiva;</li> <li>• Elaboração do Mapa de Centralidades Urbanas.</li> </ul>
4.5.2) Construção de tabelas com as notas atribuídas à critério
4.5.3) Transformação de camada vetorial em matricial
4.5.4) Álgebra de mapas para elaboração do Mapa de Potencial de Ocupação
<b>4.6) Elaboração do Mapa de Capacidade de Suporte</b>
4.6.1) Atribuição de valores aleatórios aos critérios dos mapas de Restrição Ambiental e Potencial de Ocupação, apenas com intuito de possibilitar a separação de tipologias na Análise Combinatória
4.6.2) Álgebra de mapas para elaboração do Mapa de Capacidade de Suporte

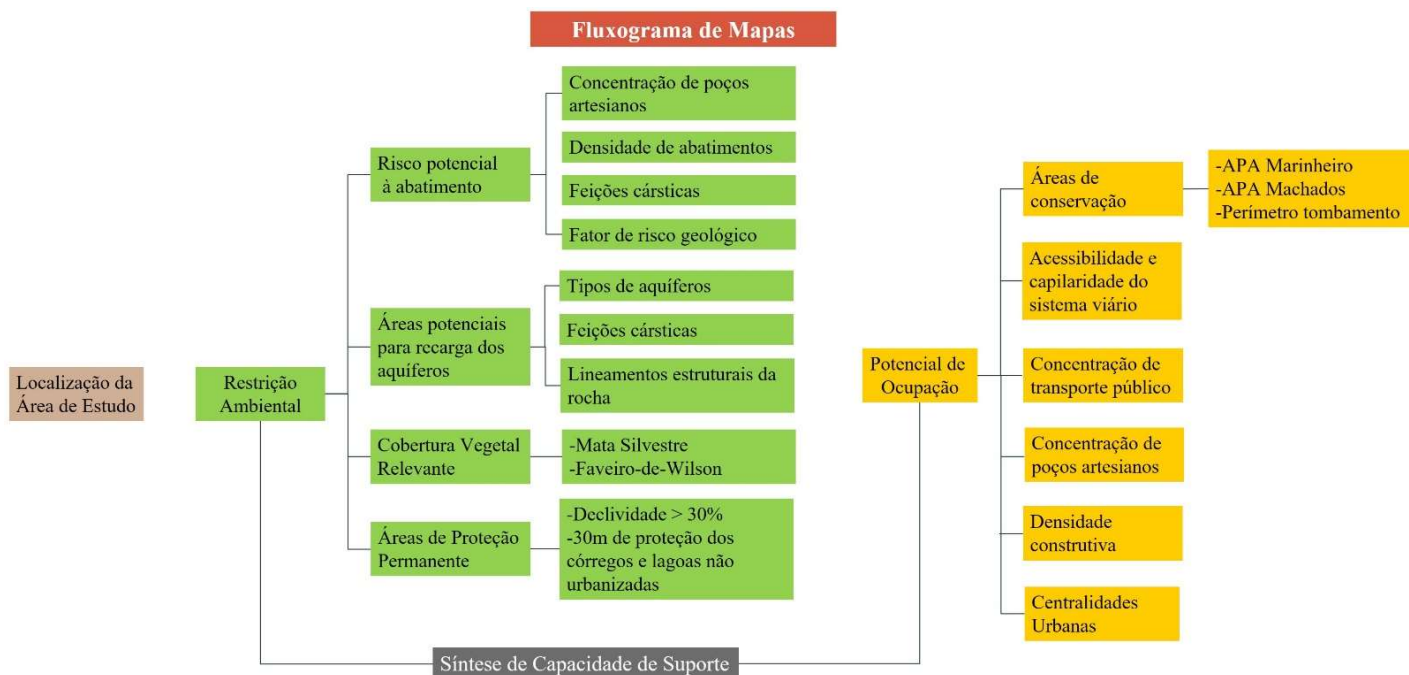


Figura 8: Fluxograma geral dos mapas elaborados

#### 4.1. Elaboração do Mapa de Localização da Área de Estudo

O mapa de localização foi elaborado pela sobreposição das shapes de unidades administrativas do Instituto Brasileiro de Geociências (IBGE, 2018), além da representação do limite do perímetro urbano de Sete Lagoas (PMSL, 2017) (Figura 1).

Foram estabelecidas duas delimitações como área estudo para este trabalho, sendo a proposta inicial mapear a capacidade de suporte para o todo o perímetro urbano de Sete Lagoas. Porém, em virtude da impossibilidade de se trabalhar os índices cadastrais dos imóveis para toda a cidade, foi necessário estabelecer um limite menor de mapeamento da densidade construtiva, em que a área mapeada correspondeu a região central de Sete Lagoas (Figura 9).

Dessa forma, os dados ambientais trabalhados contemplaram todo o perímetro urbano de Sete Lagoas enquanto que o Mapa de Potencial de Ocupação ficou restrito à área central da cidade bem como o resultado final da álgebra para Capacidade de Suporte (Figura 9).

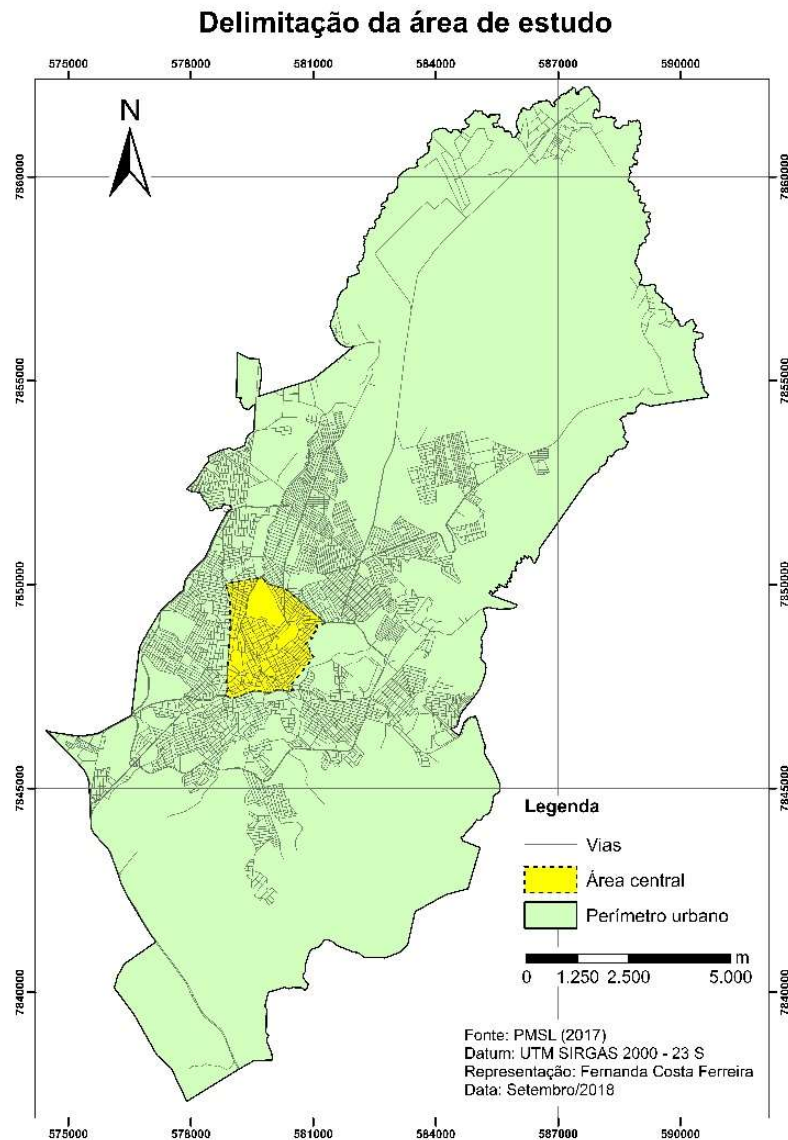


Figura 9: Mapa do limite da área de estudo para análise ambiental e delimitação do recorte feito para a análise urbana

#### 4.2. Elaboração do Mapa de Risco Potencial à Abatimento

O Mapa de Risco Potencial à Abatimento consiste em uma das etapas para a elaboração do Mapa de Restrição Ambiental. Serão detalhados aqui os procedimentos para confecção dos mapas temáticos que resultaram esta primeira álgebra conforme o fluxograma abaixo (Figura 10).

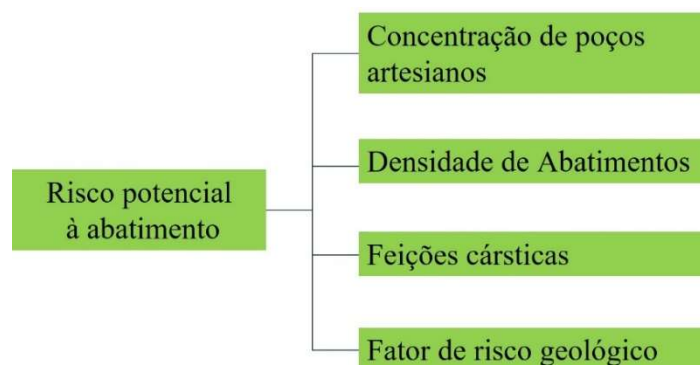


Figura 10: Fluxograma das variáveis usadas na álgebra que resultou o mapa de risco potencial à abatemento

#### 4.2.1. Elaboração ou representação de mapas temáticos

- Mapa de Concentração de Poços Artesianos Ponderados pela Vazão Específica

A ferramenta Densidade de Kernel é um método não paramétrico para estimação de curvas de densidades onde cada observação é ponderada pela distância em relação a um valor central, o núcleo (FERREIRA, 2013).

Utilizando esta ferramenta mapeou-se a concentração de poços artesianos ponderada por meio do dado de vazão específica, que consiste na razão entre o volume de exploração de água pelo nível de rebaixamento sofrido no poço (Figura 12). Esse dado também depende do diâmetro do poço e da potência da bomba pois influenciam no tempo de bombeamento da água.

Os poços com baixa vazão específica possuem pior reposição no nível de água retirada, o que provoca o esvaziamento da galeria subterrânea, potencializando os riscos de abatemento. Assim, a aplicação da ferramenta de kernel para a análise de risco de abatemento, apresenta uma lógica inversamente proporcional, ou seja, quanto menor a vazão específica do poço artesiano, maior o risco de colapso.

Como a ponderação da ferramenta *Kernel Density* é gerada de forma crescente e não decrescente, foi necessário criar uma função de 1º grau que pudesse provocar uma relação inversamente proporcional entre os dados de vazão específica e o risco de abatemento de terreno.

O maior valor encontrado entre os dados foi de 150m³/hora/metro, sendo ele usado como base para estabelecer a função que gerou a relação inversa na álgebra. Ao aplicar o cálculo criado aos dados de vazão específica, ele se tornou o menor valor da coluna

enquanto que os menores valores foram transformados nos maiores, mantendo uma proporcionalidade inversa. Para que isso fosse possível, foi aplicada a seguinte fórmula:

$$\text{Vazão específica inversa} = (x - 151) * (-1)$$

Sendo,

$x$  – vazão específica.

Foi criada uma nova coluna na tabela de atributos, preenchida por meio da ferramenta *Field Calculator* com a descrição da fórmula acima, onde  $x$  foi a coluna de vazão específica.

O raio estimado para as curvas de densidade dos poços artesianos foi de 500 metros. Outros testes com distâncias menores foram realizados, mas os resultados encontrados foram pouco expressivos para a análise.

O mapa gerado foi dividido em 5 classes pelo método de fatiamento *Natural Breaks* do ArcGis 10.4.1. As faixas de concentração de poços artesianos ponderados pela vazão específica foram denominadas como: alta, média alta, média, média baixa e baixa (Tabela 2).

Tabela 2: Classes estabelecidas com método de fatiamento *Natural Breaks* para a concentração de poços artesianos no perímetro urbano de Sete Lagoas ponderados pela vazão específica com relação inversamente proporcional

<b>Concentração de Poços Artesianos Ponderados pela Vazão Específica</b>	
<b>Classes</b>	<b>Densidade</b>
0 - 182,23588	Baixa
182,2358 - 571,0056	Média baixa
571,0056 - 1.056,9678	Média
1.056,9678 - 1.822,3583	Média alta
1.822,3583 - 3.098,0092	Alta

- Mapa de Densidade de Abatimentos

Utilizando a ferramenta Densidade de Kernel, mapeou-se a densidade dos registros de abatimentos ocorridos em Sete Lagoas, com um raio estimado para as curvas de densidade no valor de 1000 metros. Foi estabelecida essa distância relativamente alta, em função da existência de um grande cone de rebaixamento localizado na área central

de Sete Lagoas, provocado pela proximidade dos vários pequenos cones gerados pela extração de água nos poços artesanais dessa região (GALVÃO et al., 2015).

Assim, gerou-se um mapa temático em função da proximidade dos registros de abatimentos (Figura 12). O mapa gerado foi dividido em 4 classes pelo método de fatiamento *Natural Breaks* do ArcGis 10.4.1. As faixas de densidade dos abatimentos foram denominadas como: Alta, Média, Baixa e Baixíssima (Tabela 3).

Tabela 3: Classes estabelecidas com método de fatiamento *Natural Breaks* para densidade de abatimentos no perímetro urbano de Sete Lagoas

<b>Densidade de Abatimentos</b>	
0 - 0,3019	Baixíssima
0,3019 - 0,7185	Baixa
0,7185 - 1,1352	Média
1,1352 - 5,0671	Alta

- Mapa de Feições Cársticas

O Mapa de Feições Cársticas foi representado pelo mapeamento das lagoas cársticas, dos afloramentos calcários, além de um raio de 500 metros desses afloramentos ou de outros tipos de feições como, dolinas, sumidouros ou cavernas (Figura 12).

Os afloramentos calcários foram mapeados com uso da Imagem de Satélite Pléiades (PMSL, 2014), coincidindo quase sempre com a localidade das camadas da Formação Sete Lagoas do Mapa Geológico (Figura 11). Os dados de dolinas, sumidouros e lagoas foram fornecidos pelo SAAE (2013), enquanto que os registros de cavernas foram obtidos do site do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Caverna (CECAV) (2018).

O raio de 500 metros atribuído aos maciços calcários ou outros tipos de feições cársticas, obtidos através da ferramenta *buffer* do ArcGis 10.4.1, foi estabelecido em virtude dos contatos abruptos existentes entre a camada de calcário e a Formação Serra de Santa Helena, fazendo com que essa área de transição esteja mais vulnerável aos processos do carste (GALVÃO et al., 2015).

- Representação do Mapa Geológico

O mapa geológico usado como referência para este trabalho foi elaborado durante um estudo hidrogeológico realizado pela empresa Servimar, contratada pela PMSL. Ele está na escala 1:25.000 e foi usado como base para a construção de outras camadas como: feições cársticas, fator de risco geológico e tipo de aquíferos. A metodologia empregada na proposta desse novo mapeamento geológico usou como base fotografias aéreas, mapeamentos geológicos existentes na área e a avaliação de 270 perfis de poços litológicos da região (PMSL, 2013; GALVÃO et al., 2015) (Figura 11).

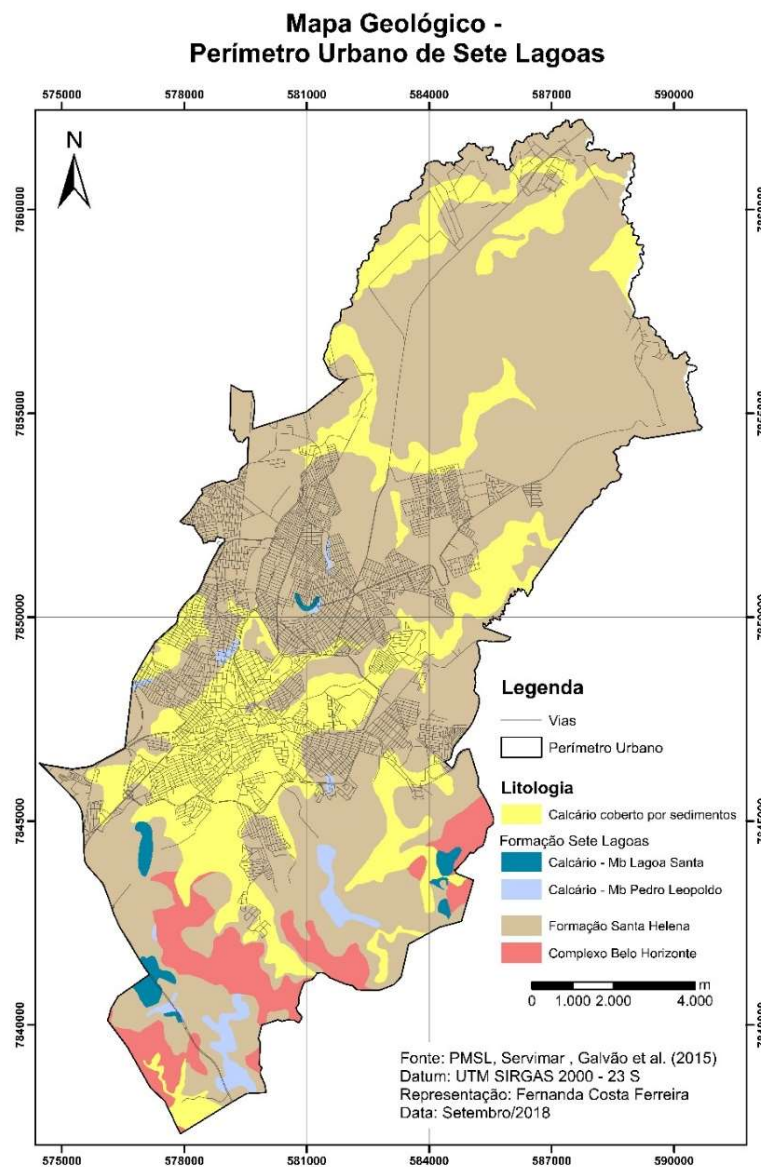


Figura 11: Mapa geológico de Sete Lagoas (PMSL, 2013; Galvão et al., 2015)

- Mapa Fator de Risco Geológico

Considerando a escassez de dados referentes aos riscos geológico existentes na área de estudo, como risco de escorregamento, queda de blocos, erosão, assoreamento ou inundação; utilizou-se, nessa situação, o Mapa de Fator de Risco Geológico apresentado em GALVÃO et al. (2015) para mapear os aspectos de resistência da rocha (Figura 12).

Os fatores de risco geológicos foram mapeados conforme as litologias encontradas na região e suas relações geológicas relativas. O mapa foi dividido em 4 critérios: 1) afloramentos calcários e calcário coberto apenas por sedimentos inconsolidados; 2) calcário coberto por uma camada fina de outra rocha; 3) calcário coberto por camada espessa de outra rocha e 4) embasamento cristalino do Complexo Belo Horizonte (GALVÃO et al. 2015).

O critério estabelecido como calcário coberto por uma camada fina de outra rocha foi definido através da ferramenta de *buffer* do ArcGis 10.4.1, com raio de 500 metros a partir da camada de afloramento calcário e calcário coberto apenas por sedimentos inconsolidados. O parâmetro foi baseado na continuidade lateral do calcário onde, dependendo do tamanho, profundidade do conduto e a espessura da camada acima, podem ocorrer colapsos (GALVÃO et al., 2015). Para determinar os limites dessas áreas, perfis dos poços litológicos e perfis ópticos, foram usados para gerar seções transversais geológicas (GALVÃO et al., 2015).

#### 4.2.2. Construção de tabelas

Na metodologia da análise multicritérios é necessário definir notas para cada critério existente nas camadas (mapas) que serão consideradas na álgebra de mapas. O objetivo em geral do primeiro conjunto de mapas descritos na etapa 4.2.1 foi o de apontar as áreas de risco potencial à abatimento no perímetro urbano de Sete Lagoas, sendo as notas mais altas atribuídas às áreas de maior risco.

Assim, o grupos de mapas utilizados nesta análise receberam notas de 1 a 10 de acordo com a vulnerabilidade aos colapsos de terreno. Considerando uma escala de 0 a 10, a nota 0 seria atribuída onde não há o risco de abatimento e 10 onde o risco é altíssimo. Porém, a nota 0 não foi usada na análise, pois é difícil afirmar a inexistência do risco, mesmo que esse seja ínfimo (Figura 10) (Tabela 4 a Tabela 7).

Tabela 4: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de concentração de poços artesianos ponderados pela vazão específica considerando o risco potencial à abatimento. Fonte: (Galvão et. al, 2015) e escuta de professor da área de hidrogeologia da UFMG.

<b>Concentração de Poços Artesianos Ponderados pela Vazão Específica</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Alta	9	O rebaixamento de água no conduto subterrâneo é um fator que provoca grande instabilidade na galeria potencializando os riscos de colapso. A maior concentração de poços em Sete Lagoas coincide com as áreas cársticas. Por isso, foi atribuída nota alta às áreas com grande concentração de poços, estabelecendo maior peso aos de baixa vazão específica, que seriam áreas mais vulneráveis ao abatimento de terreno
Média alta	8	As áreas que apareceram na segunda faixa do mapa também apresentam grande concentração de poços e por isso ainda encontram-se em áreas de risco, considerando o rebaixamento do nível de água, recebendo nota alta
Média	7	As áreas com média concentração de poços ainda estão muito próximas às áreas mais vulneráveis à abatimento em virtude da grande quantidade de poços ponderados pela baixa vazão específica, o que justifica a nota relativamente alta
Média baixa	5	Esta faixa em geral, não apareceu próxima às áreas de maior concentração de poços, e apresentou poços artesianos isolados. Foi atribuída nota intermediária ao critério, pois esporadicamente apareceu nas proximidades de maior concentração de poços
Baixa	3	Esta faixa não apresentou poços artesianos. Não foi atribuída nota muito baixa na análise deste critério, pois o fato de não existir atualmente um poço nesta área não impede a perfuração de um no futuro. Além disso, os impactos do bombeamento demasiado de água em um poço de baixa vazão específica podem repercutir ao longo de conduto subterrâneo

Tabela 5: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de densidade de abatimentos considerando o risco potencial à abatimento. Fonte: (Galvão et. al, 2015)

<b>Densidade de Abatimentos</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Alta	9	Os registros de abatimentos em Sete Lagoas aconteceram relativamente próximos e apontam uma possível área em que ocorre certa predisposição à este tipo de acidente geológico. Foi atribuída nota alta ao risco de abatimento onde a concentração de registros foi maior. Não foi estabelecida nota máxima porque, apesar da grande incidência de registros de abatimento na área, este critério não representa impedimento à ocupação
Média	8	Faixa ainda muito próxima à área com maior concentração de registros de abatimento, por isso também recebeu nota alta
Baixa	7	Faixa onde começa acontecer um distanciamento entre os registros de abatimento, logo não apresenta risco tão significativo como as duas anteriores, mas ainda encontra-se nas proximidades
Baixíssima	4	Não apareceu nenhum registro de abatimento nesta faixa, porém, não foi atribuída nota muito baixa para não influenciar de forma significativa no resultado da álgebra, já que existem outros fatores que podem influenciar nos riscos de abatimento e que geograficamente encontram-se distantes da área de alta densidade de registros já ocorridos

Tabela 6: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de feições cársticas considerando o risco potencial à abatimento. Fonte: (Pessoa, 1996; Botelho, 2008; Galvão et al. 2015; Galvão et al. 2016) e escuta de professores da área de Hidrogeologia da UFMG e técnicos do SAAE

<b>Feições Cársticas</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Lagoas Cársticas	10	Grande parte das lagoas de Sete Lagoas corresponde a feições cársticas com a existência de sumidouros no fundo já constatados em virtude da redução do volume de água em algumas delas. Notou-se que o fundo dessas lagoas é composto por um solo argiloso e instável, sendo portanto, uma área bastante vulnerável à abatimento
Maciço calcários com cavernas ou sumidouro	8	As feições cársticas são indícios de carstificação da rocha e da formação de condutos subterrâneos que podem apontar riscos de abatimento
Maciço sem caverna ou sumidouro	7	O maciço calcário mesmo sem a presença de aberturas na rocha pode indicar formação de condutos subterrâneos que apontam riscos de abatimento, geralmente em nível menor do que nas áreas com a existência de cavernas ou sumidouros
Raio de 500m de distância em relação às feições cársticas	6	O raio de 500m de distância em relação às feições cársticas corresponde à uma área de contato abrupto entre o calcário e Formação Serra de Santa Helena, o que a torna mais vulnerável aos processos do carste
Restante do território	5	Não foi atribuída uma nota tão baixa ao restante do território que não representa feições cársticas ou o raio de 500m de distância em relação à elas, uma vez que em Sete Lagoas existem extensas áreas calcárias cobertas por sedimentos inconsolidados, que apesar de não possuírem feições cársticas aparentes, apresentam inúmeros registros de abatimentos

Tabela 7: Notas estabelecidas a cada critério do mapa fator de risco geológico considerando o risco potencial à abatimento. Fonte: (Pessoa, 1996; Galvão et al., 2015)

<b>Fator de Risco Geológico (Galvão et al., 2015)</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Calcário	9	A maior parte dos registros de abatimento encontra-se em calcários expostos ou cobertos por sedimentos. Foi atribuída nota alta em virtude desta observação e baseado em estudo exploratório realizado em Sete Lagoas. Não foi estabelecida nota máxima, pois apesar do alto risco geológico atribuído à área, este critério não representa impedimento à ocupação
Calcário coberto por camada fina de outra rocha (buffer 500m)	8	Aproximadamente 11% dos registros de abatimento estão nessa área de contato abrupto entre o calcário e Formação Serra de Santa Helena, o que mostra que ela é relativamente vulnerável aos processos do carste. A nota atribuída foi em virtude desta observação e baseada em estudos exploratórios realizados em Sete Lagoas
Calcário coberto por camada espessa de outra rocha	5	Existe apenas 1 registro de abatimento nesta área, por isso foi estabelecida nota intermediária a este critério
Complexo Cristalino de Belo Horizonte	1	O Complexo Cristalino é bastante estável. Não existe nenhum registro de abatimento nesta área, porém não foi atribuída nota 0 por não ser possível afirmar que a área é completamente imune aos colapsos

#### 4.2.3. Transformação de camada vetorial em matricial

Para realizar a álgebra de mapas foi necessário fazer a transformação dos dados de vetor para raster. Porém, antes da conversão, as notas estipuladas na etapa anterior foram inseridas na tabela de atributos de cada camada, conforme o critério correspondente.

Após inseridas as notas na tabela de atributos dos vetores, as camadas feições cársticas e fator de risco geológico foram transformados em raster através da ferramenta *Convert - features to raster*, do ArcGis 10.4.1, tornando-se, assim, preparados para álgebra de mapas.

As camadas, concentração de poços artesianos e densidade de abatimentos, já estavam no formato raster por terem sido manipuladas em ferramentas que geraram produtos nessa extensão. Nesse caso, não foi preciso convertê-las, mas apenas reclassificá-las com as notas definidas nas tabelas, por meio da ferramenta *reclassify*.

#### 4.2.4. Álgebra de mapas

- Mapa de Risco Potencial ao Abatimento

Utilizando a ferramenta *raster calculator* do *Map Algebra* no ArcGis 10.4.1, foram cruzados os mapas: Concentração de Poços Artesianos, Densidade de Abatimentos, Feições Cársticas e Fator de Risco Geológico, através da seguinte fórmula:

$$(\textit{concentração de poços artesianos} * 0,20) + (\textit{densidade de abatimentos} * 0,25) + (\textit{feições cársticas} * 0,20) + (\textit{fator de risco geológico} * 0,35)$$

Como o método escolhido para esta álgebra foi o de Peso de Evidências, foram atribuídos pesos a cada camada considerando o nível de interferência que elas exercem sobre o risco de abatimento, estabelecidos com base em pesquisas exploratórias que apontaram os fatores que influenciavam nos riscos de abatimento (Galvão et. al, 2015 e Galvão et. al, 2016) e principalmente por meio da escuta de profissionais da área de geologia e hidrogeologia objetivando a captura de decisões na análise.

O fator de risco geológico teve peso maior por apresentar um resultado mais preciso em relação às formações litológicas existentes em Sete Lagoas devido os procedimentos utilizados em seu mapeamento, e conseqüentemente, as áreas onde é possível encontrar o calcário mesmo estando ele coberto por sedimentos ou outros tipos de rocha.

O segundo maior peso foi atribuído às áreas com grande densidade de abatimentos que coincidem com a região central de Sete Lagoas, onde existem inúmeros poços de extração de água em áreas com calcário coberto por sedimentos inconsolidados.

Os pesos atribuídos à extração de água dos lençóis e às feições cársticas foram iguais, pois percebeu-se que apesar dos impactos causados pelo esvaziamento do conduto em virtude da retirada de água, os riscos maiores de abatimento estão na extração de água dos poços em regiões calcárias, como pôde ser percebido em virtude da localização dos registros de abatimentos ocorridos em Sete Lagoas.

O resultado desta álgebra foi o Mapa de Risco Potencial à Abatimento no Perímetro Urbano de Sete Lagoas (Figura 12). O mapa gerado foi dividido em 5 camadas de hierarquização de valores, do menor ao maior risco de abatimento, utilizando o método

de fatiamento *Natural Breaks* do ArcGis 10.4.1. Os valores encontrados referente ao risco de abatimento foram classificados conforme Tabela 8.

Tabela 8: Classificação atribuída aos valores encontrados na álgebra de mapas, que correspondem as áreas de risco potencial à abatimento no perímetro urbano de Sete Lagoas

<b>Áreas com Risco Potencial à Abatimento</b>	
2,95 - 4,7333	Risco negligenciável
4,7334 - 5,5935	Baixo risco
5,5936 - 6,181	Risco moderado
6,1811 - 7,0412	Risco considerável
7,0413 - 8,3	Alto risco

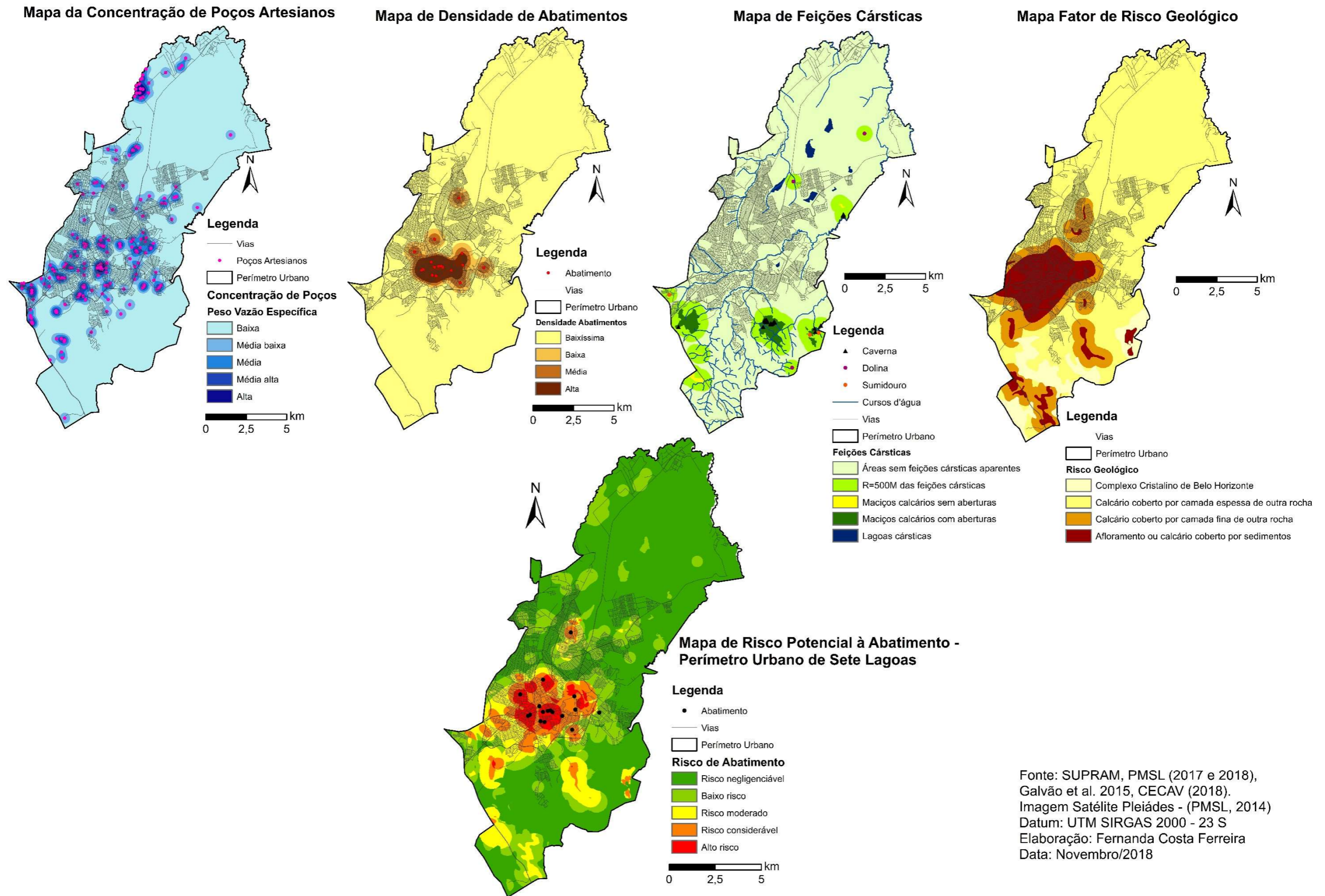


Figura 12: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de risco potencial à abatemento

### 4.3. Elaboração do Mapa de Áreas Potenciais para Recarga dos Aquíferos

O Mapa de Áreas Potenciais para Recarga dos Aquíferos corresponde à segunda etapa de elaboração do Mapa de Restrição Ambiental. O fluxograma abaixo apresenta os procedimentos para confecção dos mapas temáticos que resultaram em sua construção (Figura 13).

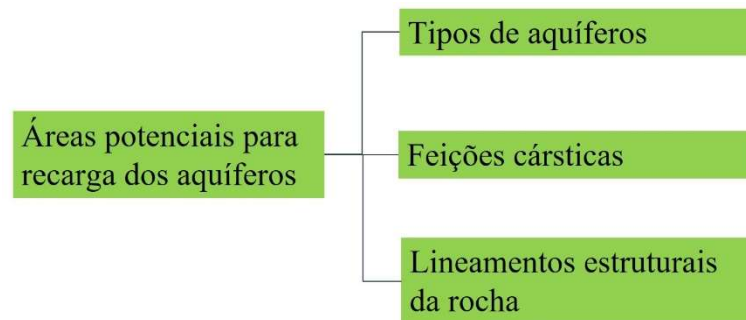


Figura 13: Fluxograma das variáveis usadas na álgebra que resultou o mapa de áreas potenciais para recarga dos aquíferos

#### 4.3.1. Elaboração ou representação de mapas temáticos

- Mapa de Tipos de Aquíferos

O mapeamento dos aquíferos usados como referência para este trabalho assim como a base geológica, também foi elaborado com base no estudo hidrogeológico realizado pela empresa Servimar, contratada pela PMSL (PMSL, 2013).

Os tipos de aquíferos foram representados conforme a litologia do Mapa Geológico (PMSL, 2013; GALVÃO et al. 2015), validada por meio de revisões bibliográficas (PESSOA, 1996; BOTELHO, 2008; PMSL, 2013).

As áreas de Formação Sete Lagoas foram identificadas como Aquífero Cárstico; a cobertura de sedimentos inconsolidados ficou denominada como Aquífero Poroso; o embasamento cristalino foi chamado de Aquífero Cristalino Belo Horizonte, também denominado por alguns autores como Aquífero Fissural e, por fim, a Formação Serra de Santa Helena, denominada como Aquífero Serra de Santa Helena (PESSOA, 1996; BOTELHO, 2008; PMSL, 2013) (Figura 14).

- Mapa de Lineamentos Estruturais da Rocha

Os lineamentos estruturais da rocha foram obtidos a partir do Mapa Esquemático Estrutural de Sete Lagoas apresentado em Galvão et al. (2015). Ele foi feito através dos lineamentos executados pelo CPRM e Projeto VIDA, aliado à uma metodologia de fotointerpretação executada pelos autores. Além disso, as estruturas inferidas também representadas nesse mapa foram elaboradas através dos dados de perfis litoconstrutivos dos poços artesanais, disponibilizados pelo SAAE (2013).

Feita a vetorização dos lineamentos, foi delimitado o raio de 500 metros para cada um por meio da ferramenta *buffer* usando como referência, a distância entre as camadas de afloramento calcário e calcário coberto apenas por sedimentos inconsolidados, estabelecida no Mapa de Fator de Risco Geológico (Galvão et al., 2015).

Os *buffers* gerados foram separados em duas categorias: os que possuem maior recarga por estarem localizados em pontos mais baixos e planos de Sete Lagoas, e os que correspondem principalmente à zona fraturada do complexo cristalino de Belo Horizonte. O restante do território da cidade foi considerado na álgebra como uma área de recarga pouco significativa por não apresentar lineamentos.

Assim, as classes definidas no mapeamento dos lineamentos estruturais da rocha, considerando a recarga de aquíferos, foram áreas de maior recarga, recarga intermediária e área de menor recarga (Figura 14) (Tabela 9).

Tabela 9: Classes definidas no mapeamento dos lineamentos estruturais da rocha por meio da ferramenta *buffer* com distinção por altimetria e declividade

<b>Lineamentos Estruturais da Rocha</b>	
Raio de 500 m dos lineamentos em áreas de menor altimetria e declividade	Área de maior recarga
Raio de 500 m dos lineamentos em áreas de altimetria elevada e de declividade mais acentuada, coincidindo principalmente com complexo Cristalino Belo Horizonte	Recarga intermediária
Restante do território onde não foram identificados lineamentos	Área de menor recarga

### 4.3.2. Construção de tabelas

Para elaborar o Mapa de Áreas Potenciais para a Recarga de Aquíferos foram consideradas três dados de geologia sendo eles: Tipos de Aquíferos, Feições Cársticas e Lineamentos Estruturais da Rocha (Figura 13), sendo a camada de feições cársticas utilizada também na álgebra de risco à abatimento, porém, com notas diferentes porque os objetivos das análises são distintos.

Considerando uma escala de 0 a 10, a nota 0 seria atribuída onde não existe recarga e 10 onde a recarga é mais elevada (Tabela 10 a Tabela 12). Contudo, não foram atribuídas notas 0 e 1 a nenhum critério, uma vez que é difícil estimar a ausência de recarga em um determinado local já que ela é o produto da interferência de vários fatores incluindo alguns que não foram considerados nesta análise como: solos, cobertura vegetal, impermeabilização do terreno, dentre outros.

O objetivo do trabalho em questão não foi o de mapear de forma detalhada o nível de recarga dos aquíferos de Sete Lagoas. Considera-se que resultado obtido na álgebra entre as três variáveis de geologia é suficiente para perceber as principais áreas de recarga da cidade, e conseqüentemente, de restrição ambiental.

Assim como no dado de lineamentos estruturais da rocha, as feições cársticas foram separadas em função da altimetria e da declividade do terreno em que ocupam, uma vez que a água tende a passar mais rapidamente em áreas íngremes e de elevada altimetria, sendo a absorção dificultada, recebendo, portanto, notas mais baixas. Já nos pontos mais baixos do terreno e planos, onde essa água fica retida por mais tempo, o potencial de recarga do aquífero se torna maior, sendo atribuídas notas mais altas para a Recarga dos Aquíferos.

Tabela 10: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de tipo de aquíferos considerando o potencial para a recarga dos aquíferos. Fonte: (Pessoa, 1996; Galvão et al. 2016) e escuta de professores da área de Hidrogeologia da UFMG

<b>Tipo de Aquíferos</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Aquífero Cárstico Sete Lagoas	7	Os afloramentos expostos são rochas de alta permeabilidade. Como o calcário de Sete Lagoas é antigo e por isso já bastante intemperizado, não foi atribuída uma nota tão alta, pois a recarga será mais eficiente por meio das aberturas como sumidouros e cavernas
Aquífero Poroso	6	O aquífero poroso possui uma recarga razoável mesmo estando sob a camada de sedimentos inconsolidados. A região onde ele está localizado é mais plana e baixa favorecendo a absorção, além dos sedimentos permitirem a percolação da água
Aquífero Cristalino de Belo Horizonte	3	Formado por rochas pouco permeáveis que se encontram já bastante intemperizadas, o Aquífero Cristalino também conhecido como Aquífero Fissural, recebe essa denominação porque possui uma grande concentração de fraturas na rocha, sendo a recarga facilitada por meio dessas aberturas. Essas fraturas encontram-se em grande parte preenchidas por veios de quartzo
Aquífero Serra de Santa Helena	2	O Aquífero Serra de Santa Helena está sob a Formação Serra de Santa Helena que é composta por rochas mais impermeáveis como, ardósias e outras

Tabela 11: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de feições cársticas considerando o potencial para a recarga dos aquíferos. Fonte: (Pessoa, 1996; Botelho, 2008; Galvão et al. 2016) e escuta de professores da área de Hidrogeologia da UFMG e técnicos do SAAE

<b>Feições Cársticas</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Lagoas Cársticas	10	As lagoas cársticas são a maior fonte de recarga de aquíferos em Sete Lagoas. Um dos fatores que pode contribuir para isso, é o fato delas estarem em uma área mais baixa onde ocorre o acúmulo de água, facilitando a absorção no solo. A partir redução no volume de água em algumas dessas lagoas. Nelas, foram detectados sumidouros que contribuem com a recarga dos aquíferos
Maciço com cavernas ou sumidouros	9	O calcário em Sete Lagoas é bastante antigo, por isso sua permeabilidade se torna menor, pois seus poros foram preenchidos por quartzo ou outros tipos de sedimentos. Nesse caso, as feições cársticas são fundamentais para garantir a recarga dos aquíferos nessas regiões
Maciço sem caverna ou sumidouro	7	No caso dos maciços calcários sem aberturas, a recarga se dá exclusivamente por meio da própria rocha, que no caso do calcário de Sete Lagoas, já encontra-se bastante intemperizado e preenchido por sedimentos. Sua permeabilidade é superior à da Formação Serra de Santa Helena ou a do Complexo Cristalino de Belo Horizonte

Raio de 500m de distância em relação às feições cársticas localizadas em áreas baixas e planas	6	O raio de 500m de distância em relação às feições cársticas corresponde à uma área de contato abrupto entre o calcário e Formação Serra de Santa Helena, o que a torna mais vulnerável aos processos do carste. No pontos de altimetria mais baixos da área de estudo, além das lagoas cársticas, existem dolinas e maciços calcários com cavernas que terão a recarga facilitada em virtude da morfologia do terreno na região
Raio de 500m de distância em relação às feições cársticas localizadas em áreas altas e íngremes	4	Foi atribuída uma nota mais baixa ao raio de 500m de distância das feições cársticas localizadas em áreas altas e com terrenos íngremes, uma vez que o nível de infiltração se torna menor devido o rápido escoamento das águas
Restante do território	3	Não foi atribuída uma nota tão baixa ao restante do território que não representa feições cársticas ou o raio de 500m delas, pois em Sete Lagoas existem extensas áreas calcárias cobertas por sedimentos, onde existe um potencial de recarga bom mas em partes, prejudicado pela impermeabilização do solo na área. Além disso, no restante do território estão a Formação Serra de Santa Helena e o Complexo Cristalino de Belo Horizonte, sendo ambos pouco permeáveis

Tabela 12: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de lineamentos estruturais da rocha considerando o potencial para a recarga dos aquíferos. Fonte: (Pessoa, 1996; Galvão et al. 2016) e escuta de professores da área de Hidrogeologia da UFMG

<b>Lineamentos Estruturais da Rocha</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Raio de 500m dos lineamentos em áreas de menor altimetria e declividade	8	Os lineamentos estruturais da rocha também são importantes recursos para recarga dos aquíferos, pois permitem a passagem de água da superfície para dentro da rocha por meio de aberturas. O raio de 500m de distância dos lineamentos foi o método utilizado para mapear os pontos de convergência das águas por essas aberturas, que podem ter a infiltração facilitada se estiverem em áreas onde a passagem de água ocorra de forma lenta ou se acumule
Raio de 500m dos lineamentos em áreas de altimetria elevada e de declividade mais acentuada	6	Foi atribuída uma nota mais baixa ao raio de 500m de distância dos lineamentos localizadas em áreas altas ou em terrenos íngremes, uma vez que nível de infiltração se torna menor devido ao rápido escoamento das águas
Restante do território onde não foram identificados lineamentos	5	A maioria dos lineamentos estruturais da área de estudo coincidiu com as feições cársticas mapeadas. Porém, não foi atribuída uma nota tão baixa ao restante do território que não apresentou lineamentos, uma vez que existem outros fatores importantes que influenciam na recarga, fora a infiltração que também pode acontecer diretamente pela rocha. Outro aspecto a ser considerado na análise, é que grande parte das fraturas existentes em Sete Lagoas encontram-se preenchidas por veio de quartzo, o que dificulta a recarga dos aquíferos. Por isso, não foram atribuídas notas extremas nesse aspecto

### 4.3.3. Transformação de camada vetorial em matricial

Após inseridas as notas atribuídas no item 4.3.2 na tabela de atributos dos dados utilizados na álgebra, os vetores foram transformadas em *raster* por meio da ferramenta *Convert - features to raster*, do ArcGis 10.4.1, usando a coluna de notas como referência.

### 4.3.4. Álgebra de mapas

Em uma nova análise multicritérios, também utilizando o método de Peso de Evidências, foram cruzados os mapas: Tipo de Aquífero, Feições Cársticas e Lineamentos Estruturais da Rocha, por meio da seguinte fórmula:

$$(tipo\ aquífero * 0,35) + (feições\ cársticas * 0,4) + (lineamentos\ estruturais\ da\ rocha * 0,25)$$

O critério considerado nesta álgebra para a atribuição dos pesos, foi o nível de interferência que cada camada exercia sobre a recarga dos aquíferos, definidos com base em pesquisas exploratórias que apontaram os fatores que influenciavam no potencial de recarga dos aquíferos, (Pessoa, 1996; Botelho, 2008 e Galvão et. al, 2016), e principalmente por meio da escuta de profissionais da área de geologia e hidrogeologia objetivando a captura decisões na análise.

O peso maior foi destinado às feições cársticas, uma vez que são elas as principais responsáveis pela recarga dos aquíferos em Sete Lagoas, seguido do Mapa Tipo de Aquífero que corresponde a litologia do terreno e por último, os lineamentos estruturais da rocha que tiveram um peso menor por estarem em grande parte, preenchida por veios de quartzo ou sedimentos.

A análise multicritérios teve como resultado o Mapa de Áreas Potenciais para a Recarga dos Aquíferos do perímetro urbano de Sete Lagoas (Figura 14). Foram atribuídas 5 camadas de hierarquização de valores, definidas pelo método de fatiamento *Natural Breaks* do ArcGis 10.4.1., de acordo com os níveis de importância para o potencial de recarga dos aquíferos. Os valores encontrados foram classificados conforme Tabela 13.

Tabela 13: Classificação atribuída aos valores encontrados na álgebra de mapas, que correspondem áreas potenciais para a recarga dos aquíferos no perímetro urbano de Sete Lagoas.

<b>Mapa de Recarga dos Aquíferos</b>	
3,15 - 3,4994	Baixa
3,4995 - 4,14	Média baixa
4,1401 - 4,9359	Média
4,936 - 6,1394	Média alta
6,1395 - 8,1	Alta

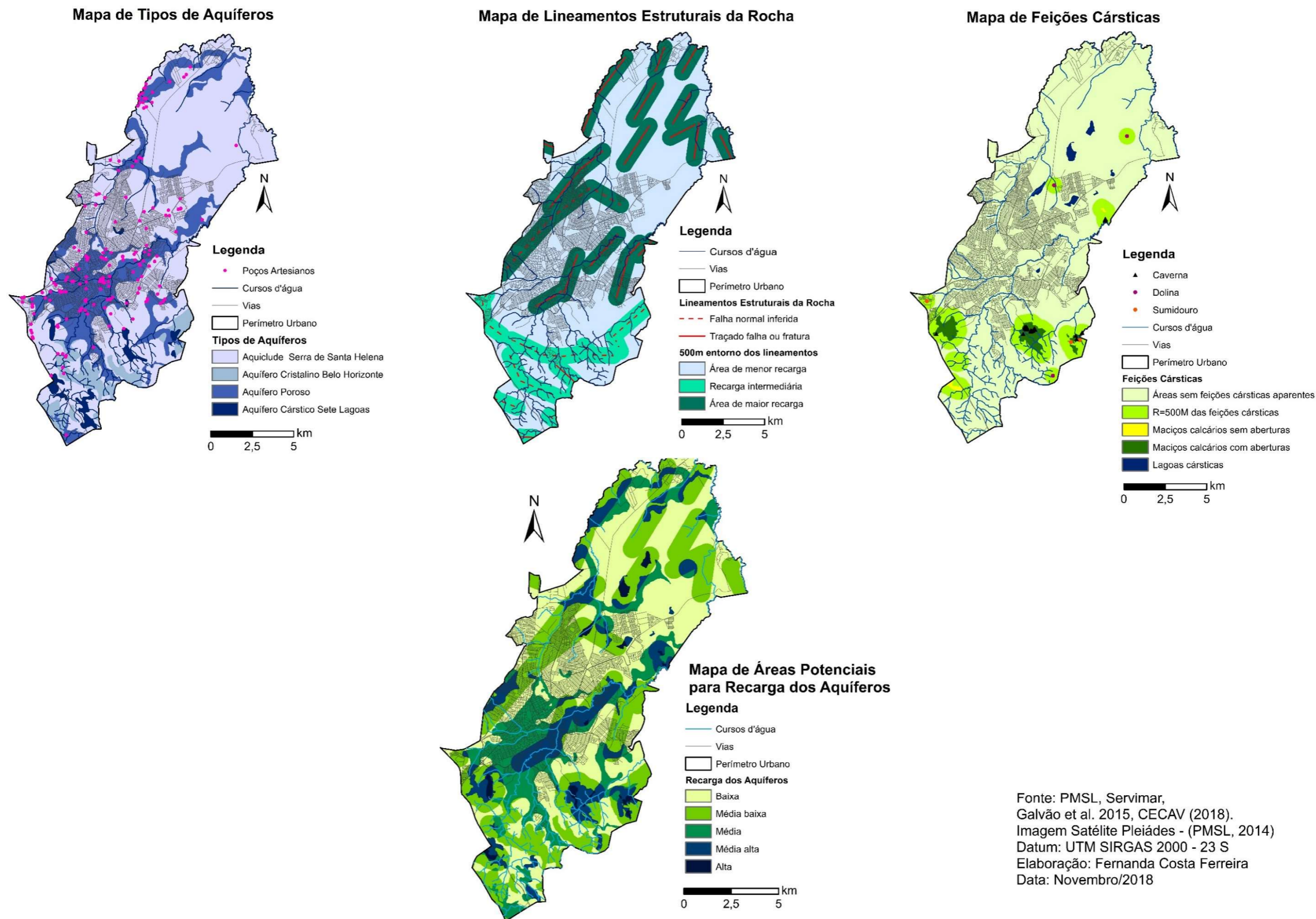


Figura 14: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de áreas potenciais para recarga dos aquíferos

#### 4.4. Elaboração do Mapa de Restrição Ambiental

Para finalizar a etapa de análise ambiental, os dois mapas gerados nas álgebras anteriores foram cruzados com os mapas de Cobertura Vegetal Relevante e Áreas de Proteção Permanente, conforme indicado no fluxograma abaixo (Figura 15).

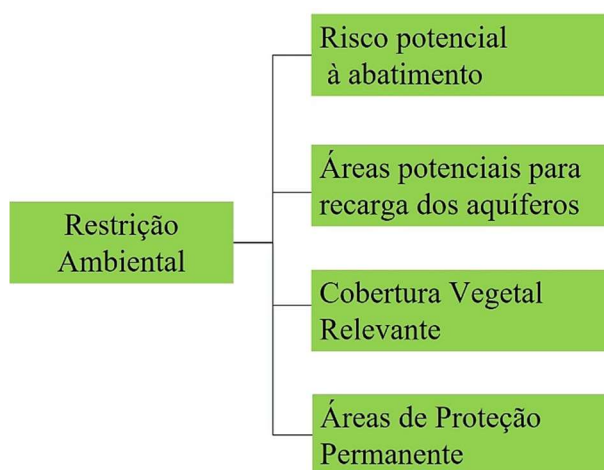


Figura 15: Fluxograma das variáveis usadas na álgebra que resultou o mapa de restrições ambientais

##### 4.4.1. Elaboração de mapas temáticos

- Mapa de Cobertura Vegetal Relevante

O Mapa de Cobertura Vegetal Relevante é composto pelas camadas de mata silvestre, fragmentos de mata silvestre com a presença de Faveiros-de-wilson ou um raio de proteção de 20 metros no caso dos indivíduos da espécie que encontram-se isolados (Figura 17).

A mata silvestre foi vetorizada a partir da Imagem de Satélite Pléiades (PMSL, 2014). Para diferenciar as espécies silvestres nativas em relação plantios florestais para fins econômicos ou campos agrícolas, foi observada a heterogeneidade visual da cobertura vegetal, uma vez que a resolução da imagem possibilitou essa distinção.

Já as espécies existentes do Faveiro-de-wilson em Sete Lagoas, foram registradas em campo por GPS MAP-76, datum SAD 69, entre os anos de 2008 a 2016. Os dados catalogados em uma planilha em Excel referente à espécie foram disponibilizados por Fernando Fernandes, um dos organizadores dos PAN Faveiro-de-wilson (2014).

Antes de carregar os pontos da planilha no ArcGis, foi realizada a conversão das coordenadas que estavam em geográficas, datum SAD 69 para projetadas em SIRGAS 2000 Z 23, através de um conversor on line chamado “*species link* dados e ferramentas”,

Depois de colocar os pontos de localização dos Faveiros-de-wilson na mesma coordenada e *datum* das demais camadas, os registros foram carregados no ArcGis 10.4.1 através *Add X Y data*, utilizando as colunas de coordenadas X e Y como referência para o plano de entrada cartográfica. Feito isso, foi salva uma extensão dos pontos em *shapefile*.

Foi estabelecido um raio de proteção de 20 metros no entorno de cada indivíduo isolado conforme orientação do Fernandes, por ser esta, a mesma medida recomendada aos proprietários de terras onde existe a espécie, para instalação de cercas de proteção em seu entorno, com a finalidade de evitar pisoteio das mudas ou raízes dos Faveiros-de-wilson por gados. Além disso, em caso de incidência de Faveiro-de-wilson em fragmento de mata silvestre a recomendação foi de proteger todo o fragmento.

- Mapa de Declividade

O Mapa de Declividade foi gerado a partir da Imagem Satélite Alos Palsar de resolução 12,5 metros, disponibilizada pelo *Alaska Satellite Facility* (ASF's, 2018) (Figura 16). Feito o download, o primeiro passo foi cortar a imagem ao limite do perímetro urbano de Sete Lagoas, utilizando a ferramenta *extract by mask* do ArcGis 10.4.1.

O recorte da imagem foi inserido na ferramenta *slope* do ArcGis, com a unidade em percentual. Não foi atribuído um fator de exagero ao modelo, sendo mantido o Z fator igual a 1.

Para gerar o mapa temático, foi atribuído o método de fatiamento manual para a definição das classes de declividade, com valores estabelecidos conforme as limitações construtivas ou restrições legais determinadas na Lei Federal 6766/79 (BRASIL, 1979). Assim, o mapa gerado foi dividido em 4 camadas, descritas na tabela 14.

Tabela 14: Classes estabelecidas com método de fatiamento manual para declividades do terreno no perímetro urbano de Sete Lagoas

Declividades	
Classes	Situação
0 a 5%	Dificuldade de drenagem
5 a 15%	Favorável à ocupação
15 a 30%	Exige maiores investimentos para construir
Acima de 30%	Restrição à ocupação

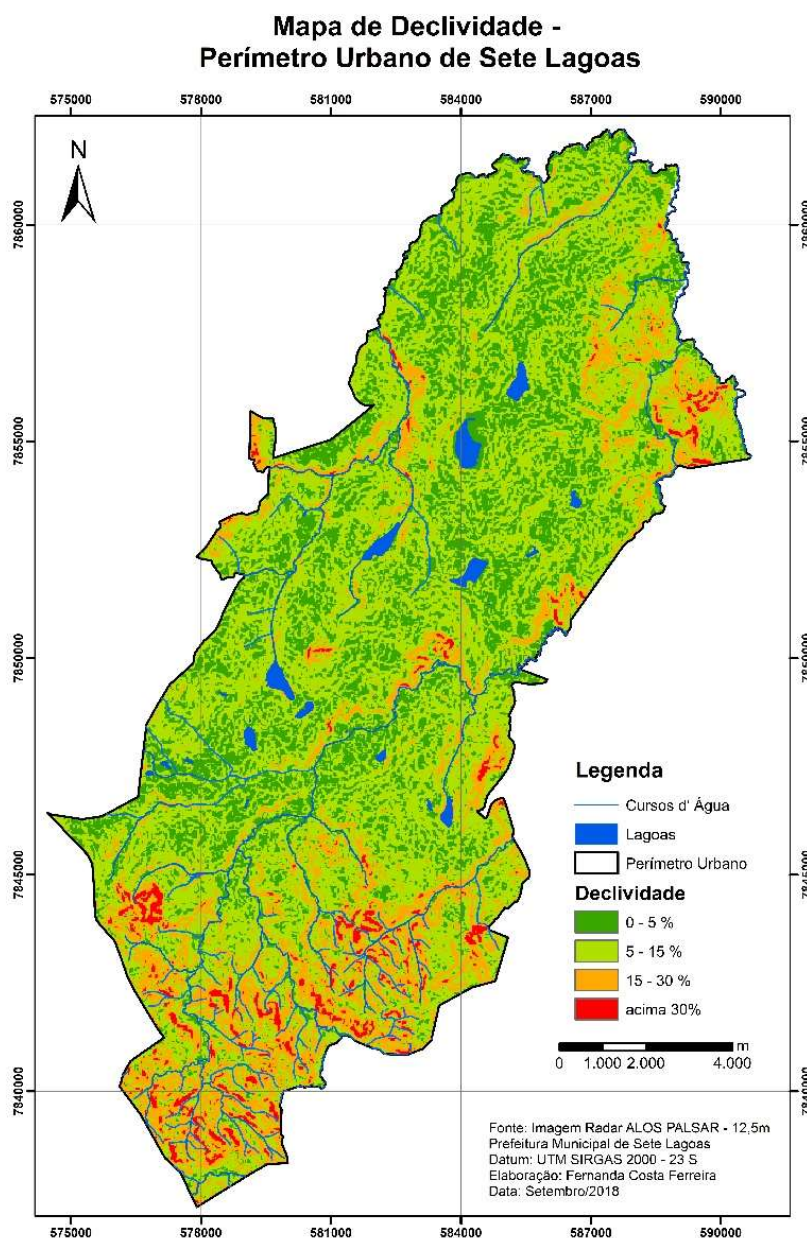


Figura 16: Mapa de declividades de Sete Lagoas. Fonte: Imagem Satélite Alos Palsar (ASF's, 2018)

- Mapa de Áreas de Proteção Permanente

Para elaborar o Mapa de Áreas de Proteção Permanente, primeiramente foi preciso extrair a classe de declividade acima de 30% gerada no mapa da etapa anterior (Figura 16). Como o modelo gerado através do *slope* é um raster com propriedades gradativas, foi preciso reclassificar a imagem em camadas bem definidas, sendo estabelecido o valor 1 para as três classes menores e o valor 2 para a classe acima de 30%, usando a ferramenta *reclassify* do *Spatial Analyst Tools*.

Os valores 1 e 2 estabelecidos foram aleatórios, podendo ser 3 e 4 e assim sucessivamente, pois a intenção nesse momento foi apenas distinguir a classe de declividade acima de 30% das demais. Porém, para utilizar o dado na produção do mapa, foi preciso também convertê-lo em vetor, através da ferramenta *Conversion tools – raster to polygon*, do ArcGis 10.4.1.

O outro critério considerado na representação das APP's, foi a faixa marginal de preservação de 30 metros ao longo dos cursos d'água com menos de 10 metros de largura e ao redor dos lagos e lagoas naturais situados em áreas urbanas (BRASIL, 2002).

Não foi considerada essa faixa de proteção em cursos d'água canalizados ou ocupados. No caso dos cursos d'água canalizados, tem sido questionado por parte dos urbanistas, o sentido deles à preservação, pois não exercem mais esse papel dentro da cidade.

Os córregos que foram ocupados de forma irregular em áreas que estão consolidadas também não foram considerados como faixa de proteção, uma vez que após a publicação da Lei Federal 13.465 (BRASIL, 2017), tornou-se possível a aprovação de núcleos urbanos informais em áreas de preservação permanente.

Considerando que todas as lagoas da área de estudo estão inseridas dentro do perímetro urbano de Sete Lagoas, ficou estabelecida uma faixa de proteção de 30 metros ao redor delas (BRASIL, 2002), com exceção às lagoas urbanizadas, onde não é mais possível separar as APP's, sendo, portanto desconsideradas na análise. São elas: Paulino, Boa Vista, Catarina, Mucuri e Cercadinho.

Assim, no ArcGis 10.4.1, foi feito o *buffer* de 30 metros para as lagoas não urbanizadas mas situadas dentro do perímetro urbano e cursos d'água com menos de 10 metros de largura. Posteriormente, essas camadas foram somadas com a ferramenta *merge* e, aplicado ao vetor resultante, o método *dissolve*, para corrigir erros de sobreposição de camadas.

Apesar do Resolução do CONAMA nº 303 (BRASIL, 2002) também estabelecer como área de proteção o entorno das nascentes e os topos de morro, eles não foram considerados na análise por falta de dados.

#### 4.4.2. Construção de tabelas

Além das variáveis utilizadas nas álgebras de mapas apresentadas acima, foram consideradas isoladamente outras duas variáveis para a Análise Multicritérios das Áreas de Restrição Ambiental: Cobertura Vegetal Relevante e Áreas de Proteção Permanente. As notas de ambas as camadas, considerando o nível de restrição ambiental, foram apresentadas nas Tabelas 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de cobertura vegetal relevante considerando o nível de restrição ambiental. Fonte: (PAN Faveiro-de-wilson, 2014; Lei Federal 9.985/2000)

<b>Cobertura Vegetal Relevante</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Fragmento de mata silvestre com Faveiro-de-wilson ou espécie isolada	10	O Faveiro-de-wilson é uma espécie arbórea criticamente em perigo de extinção. Foi criado um plano de conservação nacional da espécie, estabelecendo um nível de proteção nacional aos indivíduos existentes, sendo portanto um critério inquestionável na análise quanto à restrição ambiental
Mata Silvestre	7	De acordo com a Lei Federal 9.985/2000, nas áreas de Refúgios de Vida Silvestre e Monumentos Naturais, podem ser criados animais domésticos e cultivadas plantas considerados compatíveis com as finalidades da unidade. A nota atribuída considerou a possibilidade de uso para a área, porém restrito
Restante do território	4	O restante do território não apresentou cobertura vegetal relevante. No entanto, não foi atribuída nota mínima em função de outros possíveis critérios existentes

Tabela 16: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de áreas de proteção permanente considerando o nível de restrição ambiental. Fonte: (Resolução do CONAMA nº 303/2002; Lei Federal 6766/79; Lei Complementar nº 208/2017)

<b>Áreas de Proteção Permanente</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Lagoas urbanizadas, lagoas não urbanizadas, APP's 30 metros no entorno dos cursos d'água e lagoas não urbanizadas	10	De acordo com Art. 3º da Resolução do CONAMA Nº303/2002, constitui Área de Proteção Permanente a faixa marginal de 30 metros dos cursos d'água com até 10 metros de largura e ao redor de lagos e lagoas naturais em áreas urbanas consolidadas, sendo portanto um critério inquestionável na análise quanto a restrição ambiental, recebendo nota máxima para preservação. As lagoas já urbanizadas, onde não é mais possível deixar os 30 metros de preservação ao redor, tiveram apenas o seu próprio espelho d'água indicado com nota máxima.
Declividade > 30%	10	De acordo com inciso III, art. 3º, Lei Federal 6766/79, não é permitido o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30%. Essa mesma regra foi mantida no art. 6º da Lei Complementar 208/2017 (Lei de Parcelamento do Solo do município de Sete Lagoas). Portanto, trata-se de um critério inquestionável na análise quanto à restrição ambiental, recebendo nota máxima para preservação
Restante do território	4	O restante do território não apresentou restrições ambientais nos quesitos APP's de curso d'água, APP's de lagoas e declividade acima de 30%. Entretanto, não foi atribuída uma nota mínima, pois nem todos os tipos de APP's foram considerados na análise em virtude da escassez de dados no município

#### 4.4.3. Transformação de camada vetorial em matricial

Os dados de cobertura vegetal relevante e áreas de proteção permanente estavam no formato vetorial, portanto, foram transformados em raster por meio da ferramenta *Convert-features to raster*, usando como referência a tabela de notas criada na tabela de atributos.

Os critérios risco potencial à abatimento e áreas potenciais para recarga de aquíferos já estavam no formato raster por serem resultado de uma álgebra de mapas. Nesses casos, foi preciso reclassificá-los com as notas definidas nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de risco potencial à abatimento considerando o nível de restrição ambiental. Fonte: Escuta de professores da área de geologia da UFMG

<b>Risco Potencial à Abatimento</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Alto risco	9	Aproximadamente 59% dos registros de abatimento em Sete Lagoas coincidiram com a área de alto risco potencial à abatimento encontrada na análise, dado que evidencia a fragilidade da área. Portanto, foi atribuída nota alta à este critério quanto à restrição ambiental mas não a máxima, já que as áreas de abatimento coincidem justamente com a área urbana
Risco considerável	8	Aproximadamente 35% dos registros de abatimento em Sete Lagoas coincidiram com a área de risco considerável. Ela correspondeu à parte da mancha urbana localizada sobre calcários cobertos por sedimentos e por afloramentos calcários nas proximidades da área urbana. Portanto, foi atribuída nota relativamente alta à este critério quanto à restrição ambiental
Risco Moderado	7	Esse critério coincidiu principalmente com as áreas de contato abrupto entre o calcário e Formação Serra de Santa Helena, o que a torna vulnerável aos processos do carste. Não apareceram registros de abatimento nessas áreas, mas elas são limítrofes as áreas de risco considerável. Portanto, foi atribuída nota intermediária à elas.
Baixo Risco	6	Esse critério coincidiu com algumas feições cársticas em áreas onde o calcário não é aparente ou coberto apenas por sedimentos. Compreendem algumas lagoas cársticas, entorno de dolinas, áreas com média à alta concentração de poços artesianos, dentre outras coisas. Considerando a existência de aspectos relevantes quanto à restrição ambiental, foi atribuída nota intermediária ao critério
Risco Negligenciável	3	A nota mais baixa atribuída ao restante do território foi em virtude da inexistência de sobreposição de aspectos relevantes quanto à restrição ambiental nessas áreas

Tabela 18: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de áreas potenciais para a recarga dos aquíferos considerando o nível de restrição ambiental

<b>Áreas Potenciais para Recarga dos Aquíferos</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Alta	10	Áreas com alto potencial para recarga dos aquíferos, geralmente coincidindo com feições cársticas como, cavernas, dolinas ou sumidouros. A nota máxima atribuída foi em virtude da grande relevância ambiental da área
Média alta	8	Entorno das feições cársticas, correspondendo principalmente, às áreas de contato abrupto entre o calcário e Formação Serra de Santa Helena ou áreas de sobreposição entre o aquífero poroso e zonas de interseção de lineamentos estruturais da rocha localizados em terrenos favoráveis ao acúmulo de água. Essas áreas podem apresentar potencial satisfatório à recarga dos aquíferos, o que justifica a nota atribuída considerando a restrição ambiental
Média	6	Destaque para as áreas calcárias cobertas por sedimentos inconsolidados. Aparece em grande parte da área central, coincidindo também com a faixa de alta densidade de abatimentos. Por isso a escolha da nota intermediária mesmo se tratando de uma área urbana consolidada
Média baixa	4	Essa faixa apareceu em áreas com cobertura vegetal preservada, em zonas de lineamentos estruturais da rocha e em áreas próximas à afloramentos calcários. Porém, também foi percebida dentro da mancha urbana, próxima às zonas de lineamentos estruturais da rocha, em áreas que não apresentam restrições ambientais significativas
Baixa	3	Áreas bastante favoráveis à ocupação urbana, sem restrições ambientais aparentes na análise

#### 4.4.4. Álgebra de mapas

Assim, finalizando as etapas de construção e manipulação dos dados ambientais, foi realizada uma álgebra de mapas usando o método de Peso de Evidências, cujo resultado final foi o Mapa de Restrição Ambiental (Figura 17).

A fórmula foi ponderada conforme os pesos estabelecidos na metodologia do Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (PBH, 2015). Porém, foi feita a inversão entre os pesos das camadas risco potencial à abatimento e as áreas potenciais a recarga de aquíferos, uma vez que o resultado obtido na álgebra de recarga teve como destaque as áreas com a presença de feições cársticas de grande relevância ambiental

Além disso, o alto risco à abatimento coincidiu com a região central de Sete Lagoas, correspondente à área mais adensada da cidade. Mesmo com todas as restrições ambientais

existentes nesta área, isso não foi impedimento ao ocupá-la e por isso, não foi atribuído o peso mais alto ao risco de abatimento.

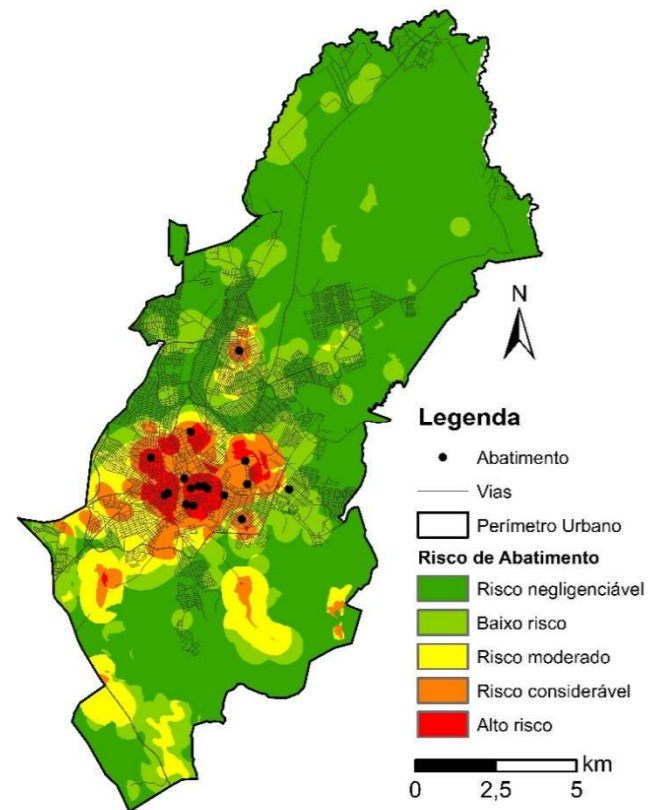
$$(risco\ potencial\ à\ abatimento * 0,20) + (áreas\ potenciais\ a\ recarga\ de\ aquíferos * 0,30) + (cobertura\ vegetal\ relevante * 0,25) + (áreas\ de\ proteção\ permanente * 0,25)$$

O mapa final foi dividido em 5 camadas pelo método de fatiamento *Natural Breaks*, sendo os valores encontrados classificados conforme a tabela 19.

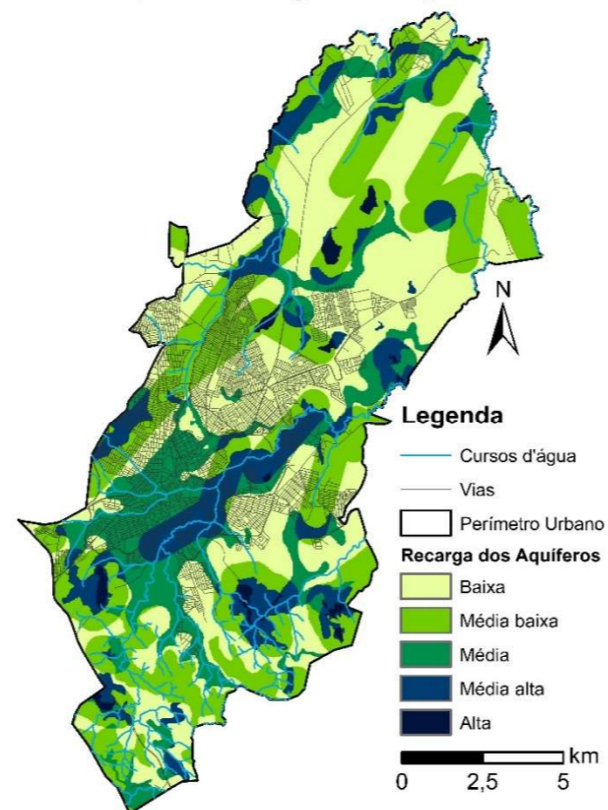
Tabela 19: Classificação atribuída aos valores encontrados na álgebra de mapas, que correspondem áreas de restrições ambientais no perímetro urbano de Sete Lagoas

<b>Restrição Ambiental</b>	
3,5000 - 3,7937	Baixa
3,7937 - 4,6958	Média baixa
4,6958 - 5,5980	Média
5,5980 - 6,7939	Média alta
6,7939 - 8,8500	Alta

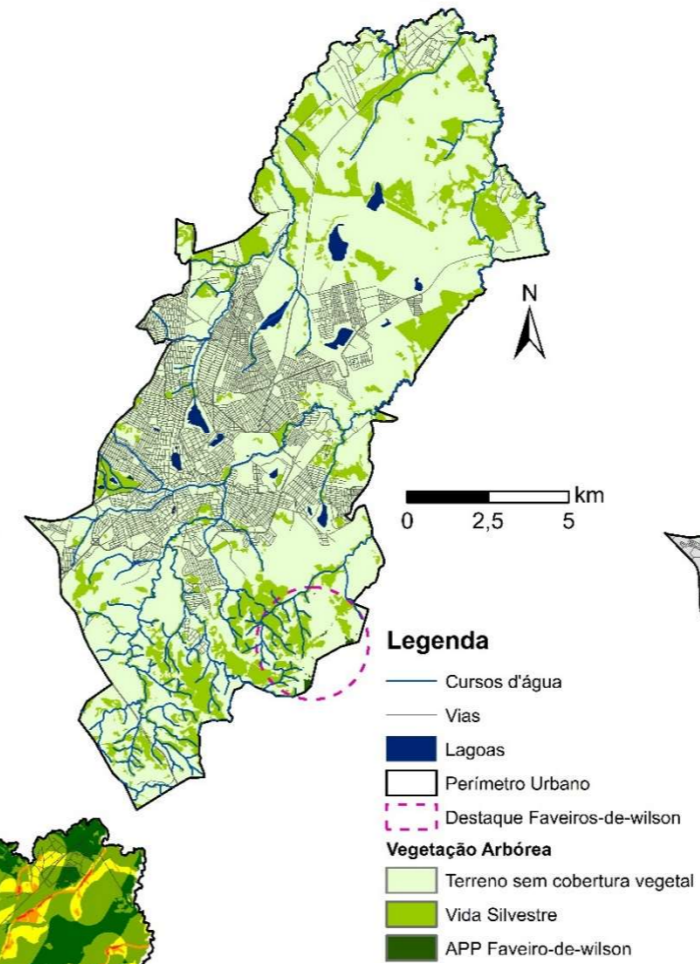
Mapa de Risco Potencial à Abatimento



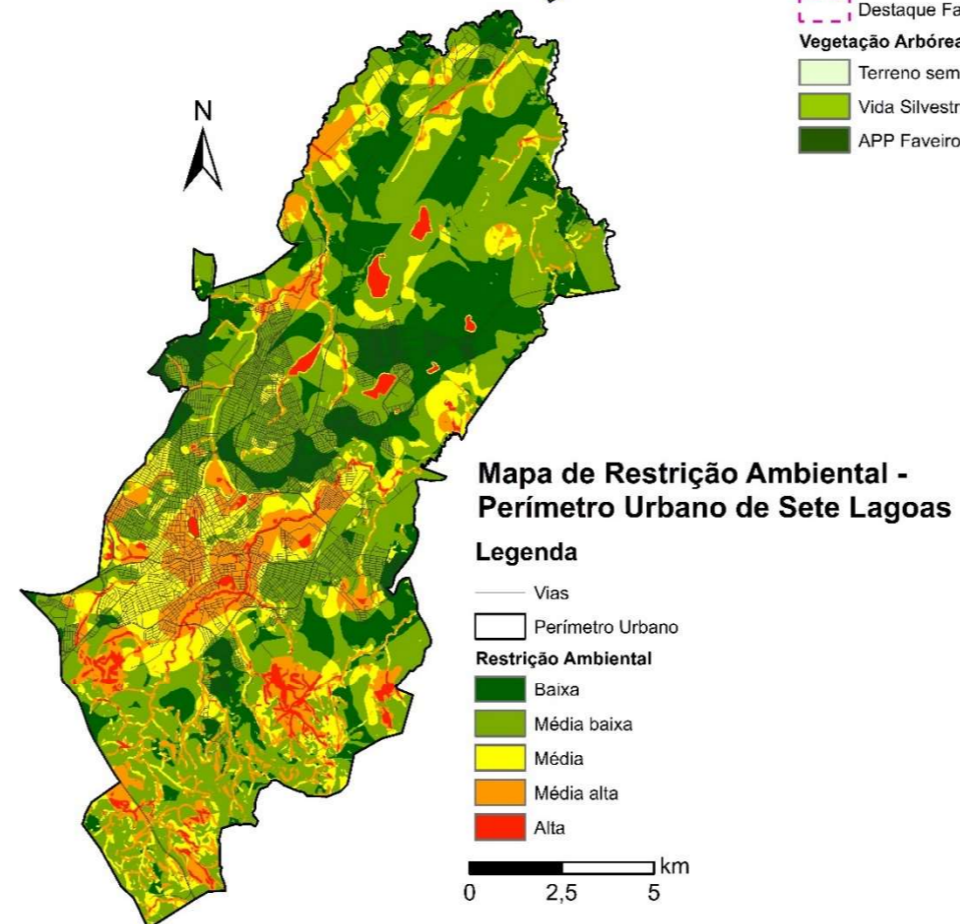
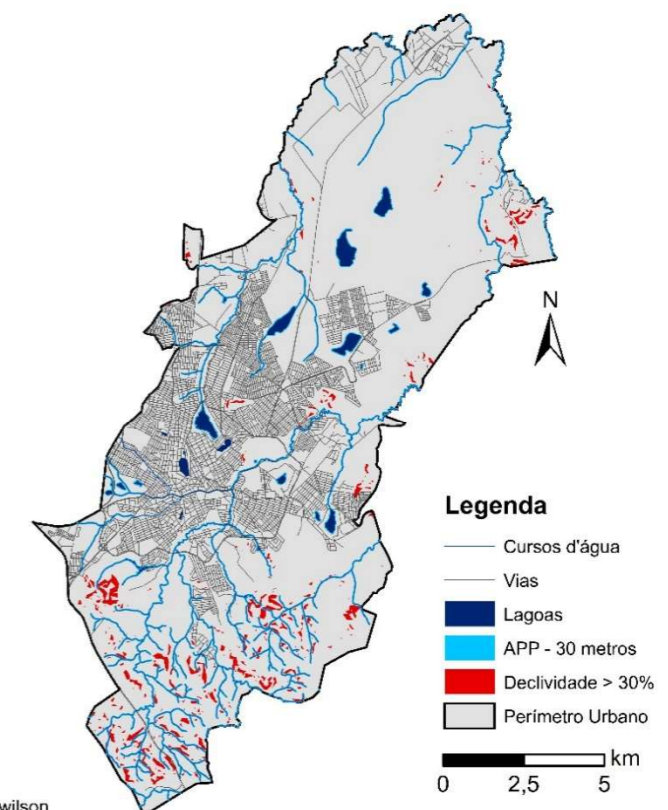
Mapa de Áreas Potenciais para Recarga dos Aquíferos



Mapa de Cobertura Vegetal Relevante



Mapa de Áreas de Proteção Permanente



Fonte: SUPRAM, PMSL (2017 e 2018), Galvão et al. 2015, CECV (2018), Servimar, Imagem Satélite Pleiádes - (PMSL, 2014) Imagem Radar ALOS PALSAR - 12,5m Datum: UTM SIRGAS 2000 - 23 S  
Elaboração: Fernanda Costa Ferreira  
Data: Novembro/2018

Figura 17: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de restrição ambiental

#### 4.5. Elaboração do Mapa de Potencial de Ocupação

O Mapa de Potencial de Ocupação foi elaborado através do cruzamento de 6 variáveis que indicaram a tendência de ocupação urbana em Sete Lagoas levando em consideração a infraestrutura existente, o acesso à água, as áreas atrativas, densidade e limitações construtivas (Figura 18).

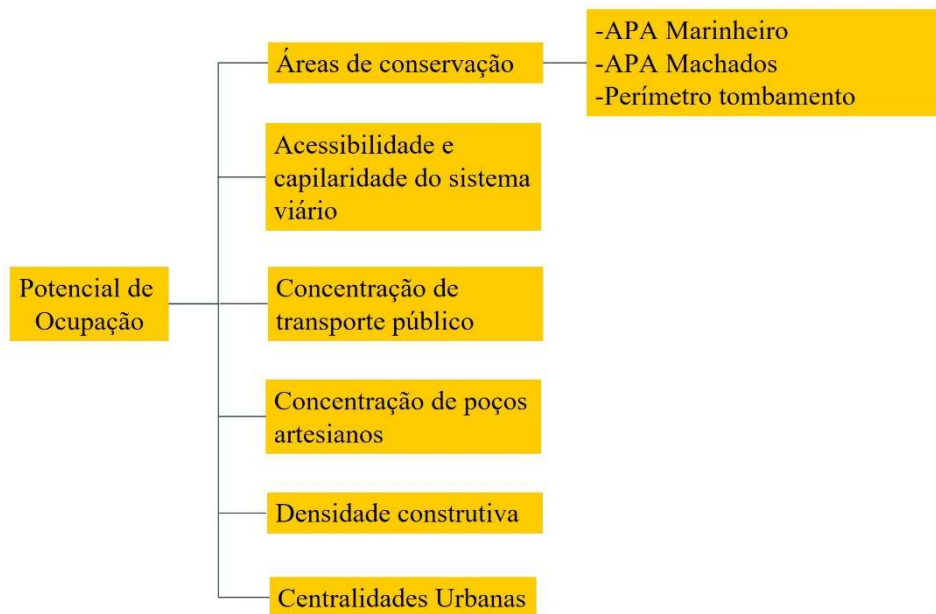


Figura 18: Fluxograma das variáveis usadas na álgebra que resultou o mapa de potencial de ocupação

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente em parceria com a EMBRAPA, estão desenvolvendo um estudo para a criação de duas Áreas de Proteção Ambiental – APA's dentro do perímetro urbano de Sete Lagoas – APA do Marinheiro e APA dos Machados. Ambas estão em fase de elaboração do zoneamento, mas seus limites já foram definidos e portanto, considerados neste trabalho como um limitador à ocupação urbana.

O mapeamento da relação de bens tombados e inventariados do município de Sete Lagoas elaborado pela Secretaria Municipal de Cultura e o limite dos perímetros de tombamento também foram dados considerados na análise de áreas de conservação (COMPAC, 2016 e PMSL, 2017).

Nesta etapa da metodologia, foi fundamental investigar a Lei Complementar nº 209 para entender a dinâmica do sistema viário em Sete Lagoas e a influência que a esta lei exerce sobre os parâmetros urbanísticos de cada zoneamento (PMSL, 2017).

Foi atribuído um papel de destaque à mobilidade urbana no quesito infraestrutura, uma vez que a facilidade de deslocamento dentro das cidades tem sido um dos principais aspectos

considerados na escolha da moradia ou na instalação de empreendimentos. Os dados utilizados para mapear a mobilidade urbana em Sete Lagoas foram os pontos de parada de ônibus e classificação viária, sendo o primeiro disponibilizado pela Secretaria Municipal de Trânsito de Sete Lagoas (PMSL, 2018) e segundo vetorizado a partir da Imagem de Satélite Pléiades (PMSL, 2014 e PMSL, 2017).

Assim como no Estudo de Capacidade Suporte de Belo Horizonte, os sistemas de rede de esgoto e água encanada não foram considerados nas variáveis de infraestrutura em virtude de uma recomendação feita aos técnicos da PBH pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), em não utilizar esses dados, alegando que nos dias atuais, esses serviços têm sido contemplados quase que totalmente nas áreas urbanas dos municípios, sendo, portanto, indicadores pouco significativos na análise.

Para mapear as áreas de melhor infraestrutura considerando o abastecimento de água, foi considerado o dado de poços artesianos, também utilizado na álgebra de risco à abatimento. Porém, diferente da análise anterior, para a identificação de áreas com maior potencial de ocupação, foi importante trabalhar o dado de modo que os poços artesianos de maior vazão específica fossem evidenciados, ou seja, aqueles em que a reposição de água pelo lençol freático ocorra de maneira satisfatória.

A densidade construtiva foi mapeada utilizando os dados cadastrais dos imóveis disponíveis no site da Prefeitura de Sete Lagoas, por meio de consulta das metragens dos lotes e das áreas construídas das edificações referente à cada índice cadastral. Nesta etapa do trabalho, foi preciso restringir o mapeamento à região central da cidade, em virtude da impossibilidade em aplicar o método à todo o território de Sete Lagoas.

As demais variáveis utilizadas na análise de potencial de ocupação foram mapeadas em relação ao limite do perímetro urbano. No entanto, o mapa final ficou restrito à região central da cidade devido a redução da área mapeada pelo dado de densidade construtiva.

As centralidades urbanas de Sete Lagoas, que correspondem às áreas de concentração de comércio e serviços, foram estabelecidas por meio de corredores viários que apresentassem tal diversidade de usos. Como não foi possível encontrar dados mais concretos de registros dessas atividades na cidade, elas foram mapeadas por um grupo focal representado por técnicos da prefeitura.

#### 4.5.1. Elaboração de mapas temáticos

- Mapa de Áreas de Conservação

As Áreas de Conservação são compostas por edificações que não possuem tendência de substituição a curto e médio prazo, conforme estabelecido no Estudo de Capacidade Suporte de Belo Horizonte (PBH, 2015), ou áreas que possuem certa estabilidade em função de alguma restrição legal ao adensamento. Porém, na capital foram considerados para essa análise os bens tombados, bens públicos, edifícios acima 5 pavimentos dentro da Av. do Contorno, e fora da mesma avenida, as edificações acima de 3 pavimentos. Considerando que, em Sete Lagoas, não é comum a demolição de casas para construção de prédios e muitos menos a substituição de edifícios menores por outros mais altos, esse critério não foi incorporado na análise.

Não foi possível obter um dado cartográfico com a localização dos edifícios públicos da cidade, portanto, essa variável também não foi utilizada.

A relação dos imóveis tombados e inventariados (COMPAC, 2016) foi estabelecida como critério mais restritivo à conservação, seguido do perímetro de tombamento demarcado na Lei Complementar nº 209 (PMSL, 2017). Dentro desse perímetro é possível edificar, porém com parâmetros urbanísticos mais restritivos que as demais áreas do centro.

Houve uma modificação em relação à metodologia usada em Belo Horizonte, que foi inserção das APA's que estão dentro do perímetro urbano de Sete Lagoas, no Mapa de Áreas de Conservação. No caso do estudo usado como modelo, esse tipo de critério foi mapeado em um Mapa de Impedimentos, que contemplou as áreas de proteção permanente, zonas de proteção ambiental, zonas específicas de interesse social, dentre outras. Como as APP's e Cobertura Vegetal Relevante já foram contempladas na análise de restrição ambiental (Figura 17), optou-se em não fazer esse Mapa de Impedimentos para Sete Lagoas e representar as APA's nas áreas de conservação, porque elas não impedem a ocupação na área, e sim limitam ao uso sustentável.

Assim, o Mapa de Áreas de Conservação foi resultado da sobreposição dos critérios: imóveis tombados ou inventariados, perímetro de tombamento, e o recorte das APA's Marinheiro e Machados ao limite do perímetro urbano, usando a ferramenta *clip* do ArcGis 10.4.1 (Figura 19).

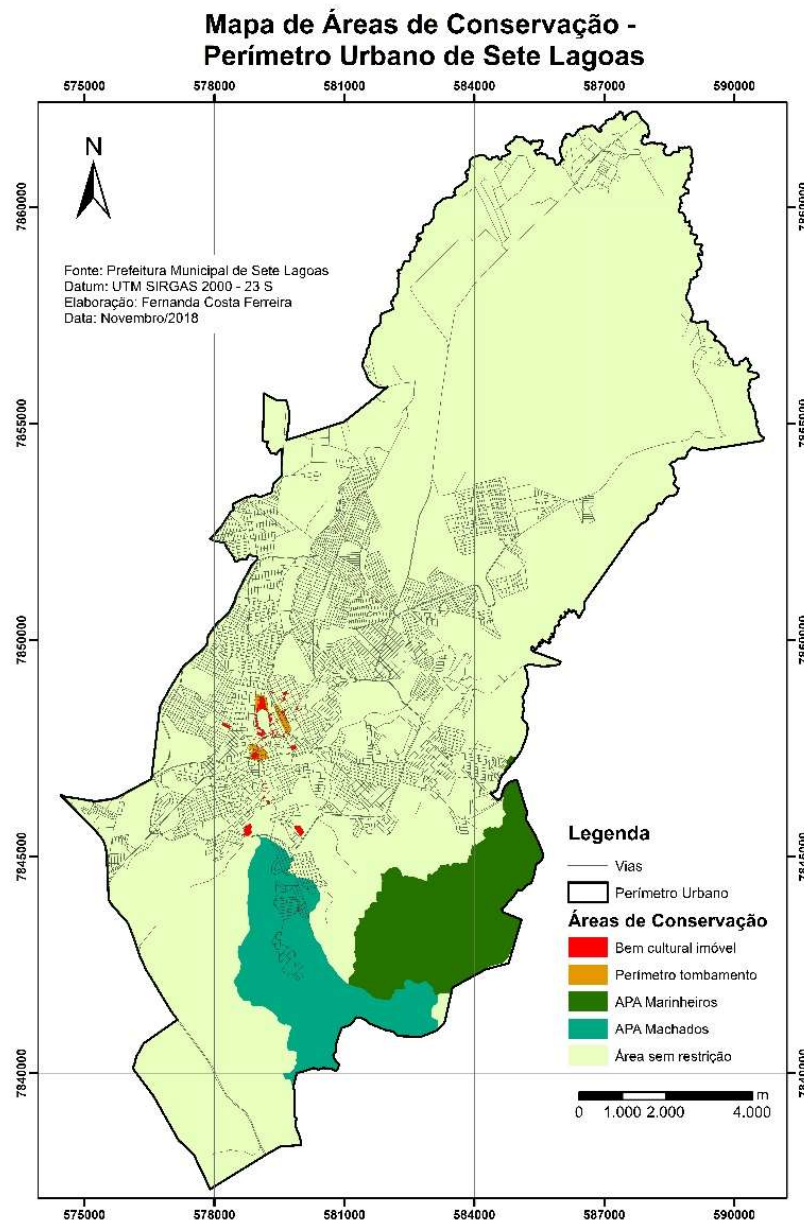


Figura 19: Mapa de áreas de conservação de Sete Lagoas. Fonte: COMPAC (2016) e PMSL (2017)

- **Mapa de Capilaridade e Acessibilidade do Sistema Viário**

A capilaridade é fator que considera a concentração de vias em um local, já a acessibilidade está relacionada à força do fluxo das vias (FERREIRA, 2013). Portanto, para gerar o Mapa de Acessibilidade e Capilaridade do Sistema Viário foi empregado o método de Kernel Ponderado, sendo os maiores pesos atribuídos de rodovias para vias locais (Figura 20).

Foi preciso primeiramente vetorizar as vias de Sete Lagoas no ArcGis 10.4.1, usando como referência a Imagem de Satélite Pleiades de resolução 50 cm (PMSL, 2014). As vias

foram representadas por uma linha única e seccionada a cada esquina, para facilitar a manipulação do dado.

Depois de concluída a geração do dado cartográfico, foi criada uma coluna de hierarquia viária na tabela de atributos das vias usando a ferramenta *add field*. Essa coluna foi preenchida manualmente de acordo com a classificação atribuída ao sistema viário pela Lei Complementar nº 209 (PMSL, 2017).

As hierarquias viárias são estabelecidas de acordo com a largura da via, a intensidade de fluxo do trânsito e as conexões estabelecidas entre elas. As classificações encontradas na LUOS de Sete Lagoas foram: rodovias; rodoanel; via arterial; via coletora principal; via coletora secundária e via local (PMSL, 2017). Para conseguir trabalhar essa informação de forma quantitativa, foi criada uma coluna na tabela de atributos com pesos correspondentes a cada classificação (Tabela 20).

Tabela 20: Pesos estabelecidos às vias conforme a hierarquia viária atribuída na Lei Complementar nº 209 (PMSL, 2017)

<b>Classificação Viária</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Características</b>
Rodovia e Rodoanel	5	Via de trânsito rápido
Via arterial	4	Conectam as diversas regiões da cidade
Via coletora principal	3	São as vias que articulam as vias arteriais e de trânsito rápido (rodoanel ou rodovias)
Via coletora secundária	2	São as vias que articulam as vias arteriais e de trânsito rápido (rodoanel ou rodovias)
Via local	1	São as de acesso pontual e circulação interna ao bairro

Assim, foi gerado um mapa com a densidade de Kernel usando como referência em *population field*, a coluna de pesos. Além disso, foram testados alguns raios de distância ao centro, e o valor que gerou o resultado mais satisfatório para ser trabalhado na álgebra de mapas, foi o raio de 350 metros.

O mapa temático elaborado foi dividido em 5 classes pelo método de fatiamento *Natural Breaks*, conforme a tabela 21.

Tabela 21: Classes estabelecidas com método de fatiamento *natural breaks* para capilaridade e acessibilidade do sistema viário no perímetro urbano de Sete Lagoas

Capilaridade/ Acessibilidade Viária	
0 - 5,4183	Baixa
5,4183 - 15,4422	Média baixa
15,4422 - 25,1952	Média
25,1952 - 36,0318	Média alta
36,0318 - 69,0836	Alta

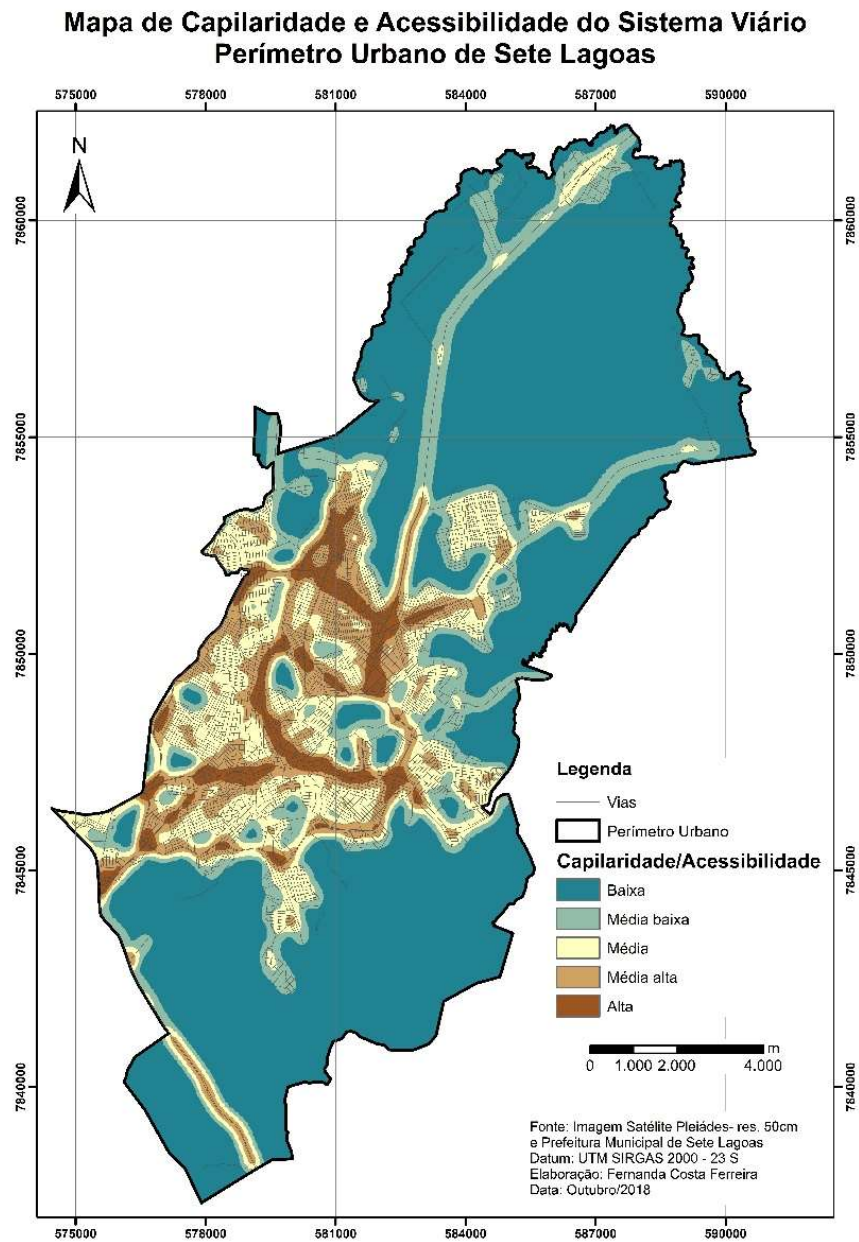


Figura 20: Mapa de capilaridade e acessibilidade do sistema viário de Sete Lagoas. Fonte: Imagem de Satélite Pléiades (PMSL, 2014) e Lei Complementar nº 209 (PMSL, 2017)

- Mapa de Concentração de Transporte Público

Foi utilizada novamente a ferramenta densidade de Kernel para construir o Mapa de Concentração de Transporte Público (Figura 21). Os dados foram levantados por técnicos da Secretaria Municipal de Trânsito (PMSL, 2018) que fizeram todas as rotas de ônibus da cidade com GPS em mãos, marcando o percurso de cada uma, além de suas paradas.

Assim, mapeou-se a densidade dos pontos de paradas de ônibus em Sete Lagoas, com um raio estimado para as curvas de densidade no valor de 500 metros, sendo uma distância razoável entre paradas de ônibus avaliando os padrões usados pela maioria dos municípios brasileiros.

O mapa de manchas gerado em função da proximidade dos registros de parada de ônibus foi dividido em 5 classes pelo método de fatiamento *Natural Breaks* do ArcGis 10.4.1. As classes foram denominadas como: Alta, Média alta, Média, Média baixa e Baixa (Tabela 22).

Tabela 22: Classes estabelecidas com método de fatiamento *natural breaks* para concentração de transporte público no perímetro urbano de Sete Lagoas

<b>Concentração de Transporte Público</b>	
0 -17,8819	Baixa
17,8819 - 57,7724	Média baixa
57,7724 - 105,9162	Média
105,9162 - 187,0728	Média alta
187,0728 - 350,7615	Alta

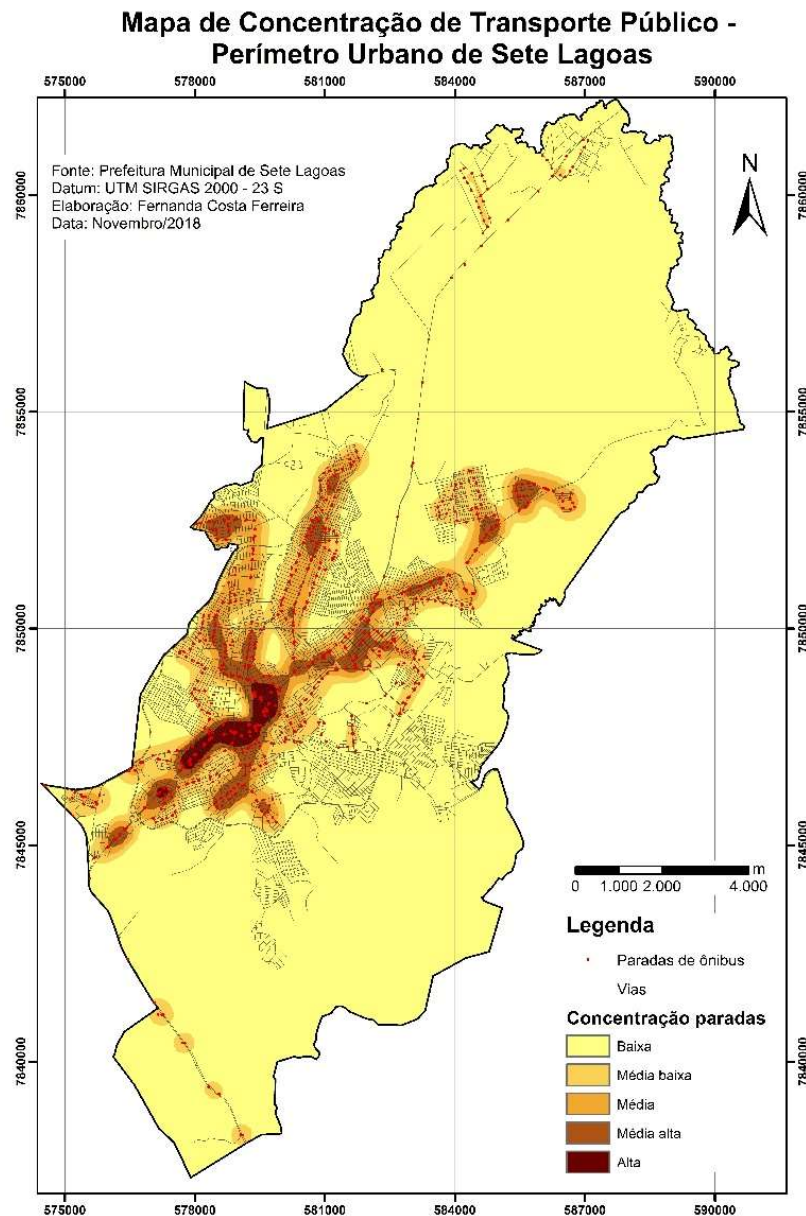


Figura 21: Mapa de concentração de transporte público de Sete Lagoas. Fonte: Secretaria Municipal de Trânsito de Sete Lagoas (PMSL, 2018).

- Mapa de Concentração de Poços Artesianos Ponderados pela Vazão Específica

Assim como na álgebra realizada para identificação de áreas com risco potencial a abatimento, o dado de poços artesianos foi utilizado novamente, na identificação de áreas com potencial de ocupação considerando a concentração de poços e suas vazões específicas.

Neste caso, a ponderação utilizada no método de densidade de Kernel foi diretamente proporcional ao dado de vazão específica, sendo utilizados os próprios valores correspondentes

às vazões para ponderar o algoritmo. Foi atribuído um raio de 500 metros, assim como no outro mapa gerado com o dado de poços artesianos.

Os valores encontrados foram divididos em 5 classes usando o método Natural Breaks, conforme descrito na tabela 23. O resultado obtido foi o mapeamento das áreas onde existem maior quantidade de poços com rendimento satisfatório, pois apesar de apresentarem uma exploração considerável de água, o rebaixamento sofrido no lençol freático é pouco significativo (Figura 22).

Tabela 23: Classes estabelecidas com método de fatiamento *natural breaks* para a concentração de poços artesianos no perímetro urbano de Sete Lagoas ponderados pela vazão específica com relação diretamente proporcional

<b>Concentração de Poços Artesianos Ponderados pela Vazão Específica</b>	
<b>Critério</b>	<b>Classificação</b>
0 - 75,2560	Baixa
75,2560 - 284,3006	Média baixa
284,3006 - 635,4955	Média
635,4955 - 1.270,9911	Média alta
1.270,9911 - 2.132,2548	Alta

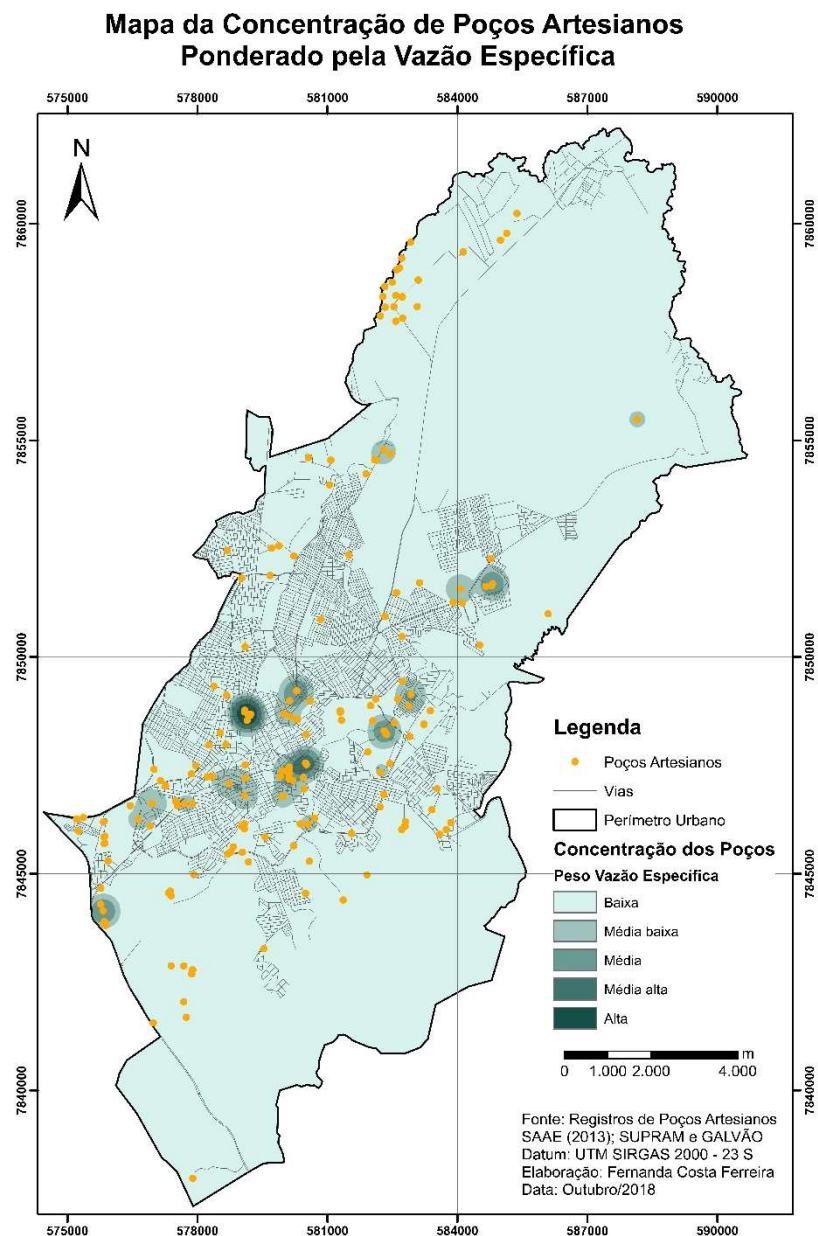


Figura 22: Mapa da concentração de poços artesianos ponderado pela vazão específica. Fonte: SAAE (2013)

- Mapa de Densidade Construtiva

O Mapa de Densidade Construtiva é a média do coeficiente de aproveitamento praticado, dada pela divisão entre a área edificada e a metragem do lote (Figura 23). Foi disponibilizada pelo departamento de Geoprocessamento da PMSL, uma base digital com todos os lotes da cidade e seus respectivos índices cadastrais.

Assim, foram criadas duas colunas na tabela de atributos dessa base, com preenchimento manual da metragem das edificações e dos lotes para cada imóvel. Essa informação foi retirada do demonstrativo de IPTU, disponível no site da Prefeitura de Sete Lagoas. A coleta não foi realizada para todo perímetro urbano, dada a impossibilidade em executar tal tarefa em virtude do tempo era insuficiente.

Portanto, foi estabelecido um limite de mapeamento para a região central de Sete Lagoas de aproximadamente 5,04 km<sup>2</sup>, compreendendo o centro e alguns bairros limítrofes, delimitados por corredores viários relevantes (Figura 9). Optou-se por mapear essa região, por ser a área mais adensada do perímetro urbano, localizada ainda sobre uma região cárstica.

Após concluir o preenchimento da tabela, foi adicionada uma coluna, com a ferramenta *add field*, preenchida pela razão entre a área edificada e área do lote. Esse cálculo foi realizado por meio da ferramenta *field calculator*.

Foi feito um mapa temático dos valores encontrados, dividido em 5 camadas com método de fatiamento manual, conforme a divisão de classes do Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (PBH, 2015) (Tabela 24).

Tabela 24: Classes estabelecidas com método de fatiamento manual para densidade construtiva da área central de Sete Lagoas. Fonte: Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (2015)

<b>Densidade Construtiva</b>
0,0 - 0,2
0,2 - 0,4
0,4 - 0,6
0,6 - 0,8
0,8 - 18,08

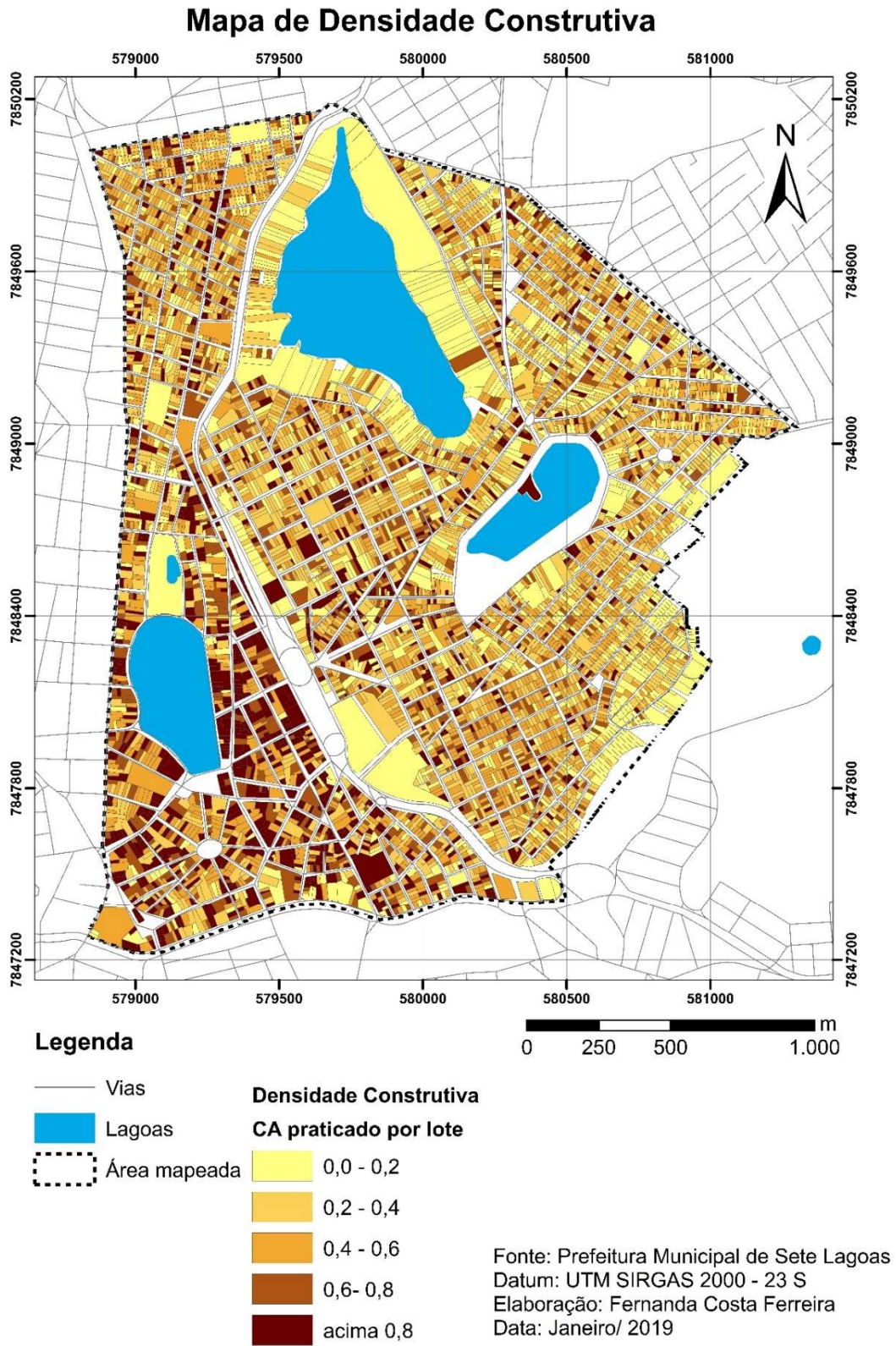


Figura 23: Mapa de densidade construtiva da área central de Sete Lagoas. Fonte: Prefeitura Municipal de Sete Lagoas (2018)

- Mapa de Centralidades Urbanas

As centralidades urbanas correspondentes às áreas de concentração de comércios e serviços foram mapeadas por meio de eixos viários que aglomeram esses tipos de usos. Dada a ausência de variáveis mais precisas que pudessem ser usadas na elaboração desse mapa, foi necessário utilizar o método de Grupo Focal para a identificação dessas áreas.

Servidores técnicos da PMSL, que atuam na gestão do espaço urbano, colaboraram apontando os principais eixos viários de Sete Lagoas que possuem comércios e serviços. Feita essa definição, foi aplicado o método de densidade de Kernel, com raio de abrangência de 350 metros, para mapear as regiões que concentram as vias indicadas como eixos de centralidades.

O mapa de manchas gerado em função da proximidade dessas vias, foi dividido em 5 classes pelo método de fatiamento *Natural Breaks* do ArcGis 10.4.1 (Figura 24). As classes foram denominadas como: Alta, Média alta, Média, Média baixa e Baixa (Tabela 25).

Tabela 25: Classes estabelecidas com método de fatiamento *natural breaks* para centralidades urbanas no perímetro urbano de Sete Lagoas

<b>Centralidades Urbanas</b>	
0 - 6,4253	Baixa
6,4253 - 18,8476	Média baixa
18,8476 - 34,2684	Média
34,2684 - 56,1146	Média alta
56,1146 - 109,2307	Alta

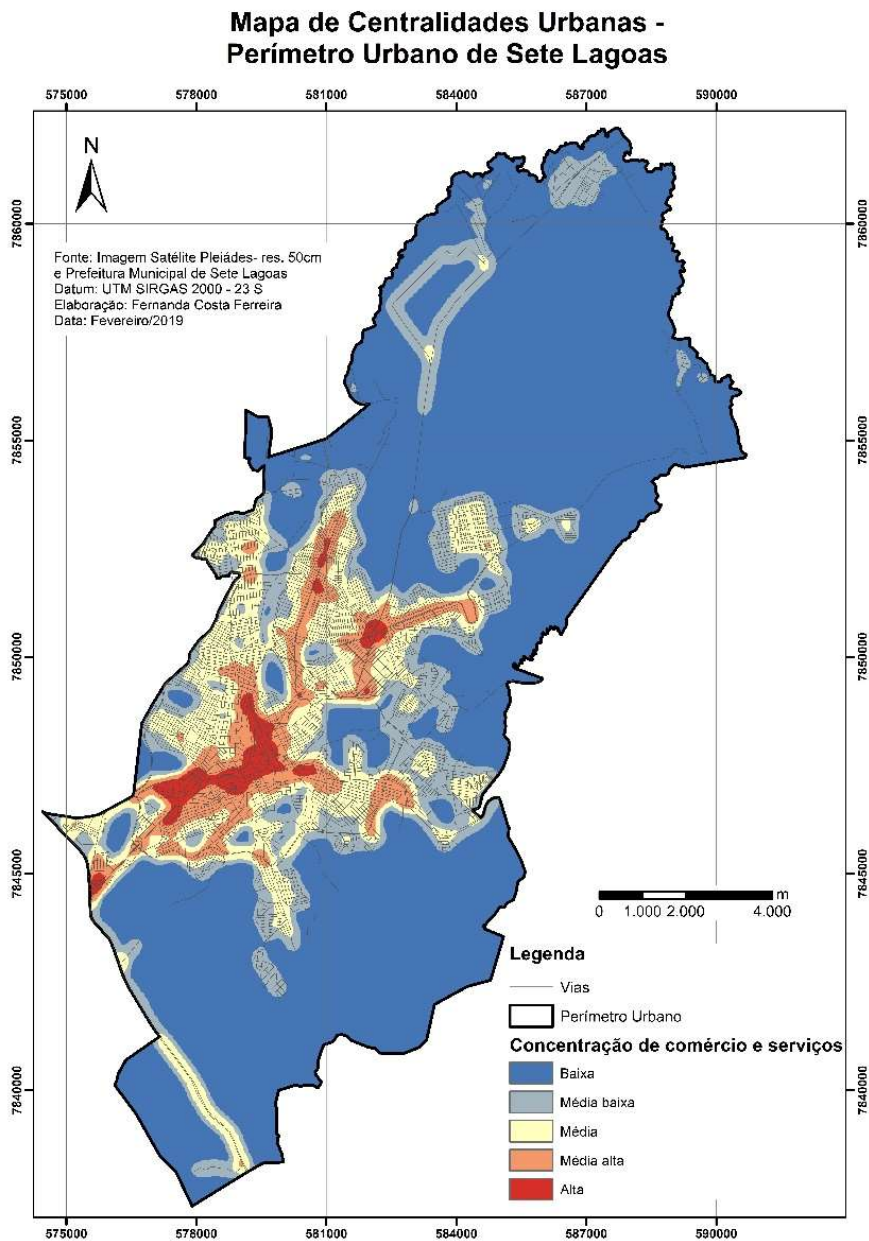


Figura 24: Mapa de centralidades urbanas de Sete Lagoas. Fonte: PMSL (2019)

#### 4.5.2. Construção de tabelas

Nesta etapa da metodologia, as notas foram definidas conforme o potencial de ocupação de cada critério existente nas camadas usadas na álgebra de mapas. O objetivo do segundo conjunto de mapas descrito na etapa 4.5 foi o de apontar a tendência da ocupação urbana em Sete Lagoas, sendo as notas mais altas, atribuídas as áreas com maior potencial de ocupação.

Assim, o grupo de mapas utilizados no cruzamento para a elaboração do Mapa de Potencial de Ocupação recebeu notas de 2 a 9, de acordo com predisposição à ocupação do

terreno. Considerando uma escala de 0 a 10, a nota 0 seria atribuída onde não há interesse de ocupação considerando os aspectos analisados e 10 onde o interesse em ocupar é máximo (Tabela 26 a Tabela 31).

Não foram atribuídas notas extremas na análise, pois nenhum dos critérios foi considerado como sendo incontestável, ou seja, área sem interesse em ocupar ou com interesse absoluto de ocupação.

As notas foram estabelecidas considerando o limite da área central, já que todas variáveis tiveram que ser padronizadas conforme a área delimitada para o Mapa de Densidade Construtiva (Figura 09). Os únicos critérios que deixaram de aparecer considerando o limite de mapeamento anterior do perímetro urbano, foram os Faveiros-de-wilson e as APA's Marinheiro e Machados.

Os critérios utilizados para estabelecer as notas foram: revisão bibliográfica e legislações urbanísticas municipais. As tabelas foram apresentadas à profissionais da área de planejamento urbano, sendo realizadas algumas alterações nas notas, após essa análise.

Tabela 26: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de áreas de conservação. Fonte: Relação de Bens Culturais do Município de Sete Lagoas (2016), na Lei Comp. nº209/2017, no Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (2015) e na escuta de profissionais da área de arquitetura das Prefeituras de Sete Lagoas e Belo Horizonte

<b>Áreas de Conservação</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Imóveis Culturais	2	Foi atribuída uma nota baixa aos imóveis de relevância cultural (tombados ou inventariados) na análise de potencial de ocupação, pois dificilmente eles poderão ser demolidos e substituídos por novas edificações. Porém, não foi estabelecida nota mínima ao critério na análise, pois excepcionalmente pode ser autorizada a demolição em imóveis inventariados no município
Perímetro Cultural	4	Existem três perímetros de proteção cultural em Sete Lagoas onde os parâmetros urbanísticos à ocupação são mais restritivos. No entanto, não são proibidas reformas ou construções de edificações dentro dessas áreas, desde que siga às legislações municipais específicas
Demais	9	As demais áreas da cidade não apresentam restrição à ocupação com relação a relevância cultural, mas não foi estabelecida nota máxima porque imóveis fora do perímetro de proteção cultural podem sofrer tombamento caso seja de interesse do poder público

Tabela 27: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de acessibilidade e capilaridade do sistema viário. Fonte: Escuta de grupo multidisciplinar e intersetorial da Prefeitura de Sete Lagoas que atua na área de planejamento urbano (2018)

<b>Capilaridade e Acessibilidade do Sistema Viário</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Baixa	2	As áreas que apareceram com baixa capilaridade e acessibilidade não apresentam sistema viário por corresponderem a glebas não parceladas. Tal critério não é um impedimento à ocupação mas, considerando a infraestrutura inexistente, trata-se de uma região que exige grandes investimentos
Média baixa	5	Este critério foi definido para a mancha de transição entre as áreas ocupadas da cidade que apresentam sistema viário e as que não foram parceladas e portanto, não possuem arruamento. Tratam-se de regiões que possivelmente sofrem pressão com a expansão urbana e que também exigem maiores investimentos em infraestrutura
Média	6	O critério média concentração de capilaridade e acessibilidade viária apareceu em áreas internas aos bairros onde existe a concentração satisfatória de vias locais porém, distantes dos grandes corredores viários da cidade
Média alta	7	Este critério apareceu próximo às regiões de convergência dos principais eixos viários de Sete Lagoas, onde também há uma concentração maior de vias
Alta	8	A mancha de alta capilaridade e acessibilidade do sistema viário apareceu sobre as vias coletoras e arteriais da cidade, principalmente nas áreas de convergência desses eixos viários, onde também aparece uma malha urbana bastante preenchida

Tabela 28: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de concentração de transporte público. Fonte: Escuta de grupo multidisciplinar e intersetorial da Prefeitura de Sete Lagoas que atua na área de planejamento urbano (2018)

<b>Concentração de Transporte Público</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Baixa	4	As áreas que apareceram com baixa concentração de transporte público não apresentam nenhuma linha de ônibus atualmente. Compreendem áreas não ocupadas, bairros novos, bairros de maior poder aquisitivo ou condomínios residenciais. Foi atribuída nota intermediária para este critério, uma vez que grande parte da área que apareceu nesta categoria, de fato, não apresenta demanda por transporte público. A ampliação desses serviços no território da cidade é algo que não exige grandes investimentos se comparado aos outros serviços de infraestrutura
Média baixa	6	A média baixa concentração de transporte público apareceu nas proximidades de regiões que possuem uma linha de ônibus. A nota intermediária atribuída foi pela mesma razão mencionada no critério anterior, pois ampliar o sistema de transporte público não é algo tão complicado. Algumas dessas áreas têm sido alvo do mercado imobiliário, pois trata-se de bairros ainda pouco adensados

Média	8	Estas áreas coincidiram com locais da cidade por quais passam uma ou duas linhas de ônibus. São próximas à importantes corredores viários, garantindo a facilidade acesso aos bairros onde aparecem
Média alta	9	A concentração média alta de transporte público apareceu em áreas com pelo menos duas linhas de ônibus, sendo os pontos de parada de ônibus próximos entre si. Estas áreas receberam a nota mais alta para potencial de ocupação, pois não coincidem com regiões muito adensadas e apresentam atendimento satisfatório em relação aos serviços de transporte público
Alta	7	A alta concentração de transporte público coincidiu com a área central de Sete Lagoas, onde ocorre a convergência de várias linhas de ônibus. Apesar da grande disponibilidade de acesso aos serviços de transporte público na região, não foram atribuídas as notas mais altas à este critério na análise por se tratar de área já bastante adensada

Tabela 29: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de concentração de poços artesianos ponderados pela vazão específica considerando a disponibilidade de acesso à água. Fonte: Escuta de professor da área de Hidrogeologia da UFMG

<b>Concentração de Poços Artesianos Ponderados pela Vazão Específica</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Baixa	3	Esse critério abrange a maior parte do território de Sete Lagoas. Inúmeros poços artesianos aparecem nessa faixa, porém de forma dispersa, sendo que a maioria deles apresentam vazões específicas mais baixas
Média baixa	5	As áreas com maior concentração de poços artesianos coincidem com as áreas de maior carstificação da cidade, correspondendo a região onde está localizado o Aquífero Poroso. Apesar desse critério aparecer em pontos com média a baixa concentração de poços, ainda encontra-se nessa área de carstificação mencionada, o que justifica a nota intermediária atribuída
Média	7	Tal critério aparece em alguns casos pontuais, próximos aos poços vazão específica elevada, localizados na área do Aquífero Poroso
Média alta	8	Tal critério aparece em alguns casos pontuais, próximos aos poços vazão específica elevada, localizados na área do Aquífero Poroso
Alta	9	Esse critério apareceu em um ponto específico da área central de Sete Lagoas, onde estão os poços de maiores vazões específicas, responsáveis pelo abastecimento de uma parcela significativa da cidade

Tabela 30: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de densidade construtiva da área central de Sete Lagoas. Fonte: Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (2015)

<b>Densidade Construtiva</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
<b>0,0 - 0,2</b>	9	As notas da camada de densidade construtiva foram atribuídas com base no Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (2015). Considerando que, na pesquisa usada como modelo, a nota atribuída foi 5 e neste trabalho estabeleceu-se a variação de notas entre 1 e 10, o valor ideal para esse critério seria o dobro, ou seja, 10. Porém, não foi estabelecida nota máxima, pois, ainda que seja um terreno vago, este pode apresentar alguma restrição à ocupação
<b>0,2 - 0,4</b>	8	Nota atribuída com base no Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (2015), sendo o dobro da nota do estudo em função da maior variação de notas atribuídas na metodologia desta pesquisa
<b>0,4 - 0,6</b>	6	Nota atribuída com base no Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (2015), sendo o dobro da nota do estudo em função da maior variação de notas atribuídas na metodologia desta pesquisa
<b>0,6 - 0,8</b>	4	Nota atribuída com base no Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (2015), sendo o dobro da nota do estudo em função da maior variação de notas atribuídas na metodologia desta pesquisa
<b>&gt; 0,8</b>	2	Nota atribuída com base no Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte (2015), sendo o dobro da nota do estudo em função da maior variação de notas atribuídas na metodologia desta pesquisa

Tabela 31: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de centralidades urbanas. Escuta de grupo multidisciplinar e intersetorial da Prefeitura de Sete Lagoas que atua na área de planejamento urbano (2018)

<b>Concentração de Centralidades Urbanas</b>		
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>	<b>Justificativa</b>
Baixa	2	Como a dado de centralidades urbanas foi mapeado a partir do sistema viário, as áreas de baixa concentração de centralidades urbanas coincidiram com regiões em Sete Lagoas que ainda não foram ocupadas. Assim como a inexistência de sistema viário, essas áreas ainda não apresentam comércios e serviços, sendo portanto necessários grandes investimentos para serem ocupadas
Média baixa	5	Esse critério apareceu nas extremidades da mancha urbana ou em áreas internas à cidade que não possuem malha viária. São áreas que possivelmente, não apresentam comércios e serviços por estarem desocupadas ou iniciando o processo de ocupação, mas tratam-se de regiões que sofrem pressão com a expansão urbana
Média	6	A média concentração de centralidades urbanas apareceu em grande parte nos bairros predominantemente residenciais, com a presença de comércios e serviços de pequeno porte
Média alta	7	Essa mancha coincidiu com áreas próximas ou sobre corredores viários que apresentam grande concentração de comércios e serviços
Alta	8	Essa mancha coincidiu com áreas de convergência entre corredores viários que apresentam grande concentração de comércios e serviços

### 4.5.3. Transformação camada vetorial em matricial

Os dados usados para mapear o potencial de ocupação da área central de Sete Lagoas foram cruzados em uma única etapa de análise multicritérios.

As notas estipuladas na etapa anterior foram inseridas na tabela de atributos das camadas vetoriais, que são: áreas de conservação e densidade construtiva. Foi feito um recorte no mapa de áreas de conservação com a ferramenta *clip*, estabelecendo para ele o mesmo limite da área mapeada para densidade construtiva (Figura 09). Feito isso, elas foram transformados em *raster* por meio da ferramenta *Convert - features to raster*, do ArcGis 10.4.1.

As camadas que já estavam no formato raster (grid) - acessibilidade e capilaridade do sistema viário, concentração de transporte público, concentração de poços artesianos e centralidades urbanas - foram reclassificadas com as notas definidas nas tabelas, através da ferramenta *reclassify*, transformando-as no formato tiff. Após a mudança de extensão, as variáveis foram convertidas para shape, por meio da ferramenta *Convert - raster to polygon*, com o objetivo de definir o mesmo recorte para a análise, limitando-se ao mapeamento da área central de Sete Lagoas (Figura 09). Os mapas foram convertidos para tiff novamente em *polygon to raster*, usando a coluna *gricode* em *value field*, mantendo os pesos indicados anteriormente pelo processo do *reclassify*.

### 4.5.4. Álgebra de mapas

Assim, finalizando as etapas de construção e manipulação das variáveis de potencial para ocupação urbana, foi realizada uma álgebra usando o método de Peso de Evidências, cujo resultado final foi o Mapa de Potencial de Ocupação (Figura 25).

A fórmula foi ponderada considerando aspectos abordados no Estudo de Capacidade de Suporte de Belo Horizonte, além das especificidades urbanísticas de Sete Lagoas.

$$\begin{aligned}
 & (\text{áreas de conservação} * 0,10) + (\text{capilaridade e acessibilidade do sistema viário} * 0,20) + \\
 & (\text{concentração de transporte público} * 0,20) + (\text{volume de água explotado} * 0,20) + \\
 & (\text{densidade construtiva} * 0,20) + (\text{centralidades urbanas} * 0,10)
 \end{aligned}$$

O mapa final foi dividido em 5 camadas pelo método de fatiamento *Natural Breaks*, cujos valores representam o ranking dos níveis de potencial de ocupação da área mapeada, sendo os valores encontrados classificados conforme a Tabela 32.

Tabela 32: Classes estabelecidas com método de fatiamento *natural breaks* para Potencial de Ocupação da área central de Sete Lagoas

<b>Potencial de Ocupação</b>	
3,3000 - 4,3800	Baixo
4,3800 - 5,4811	Médio baixo
5,4811 - 6,2858	Médio
6,2858 - 7,0905	Médio alto
7,0905 - 8,7000	Alto

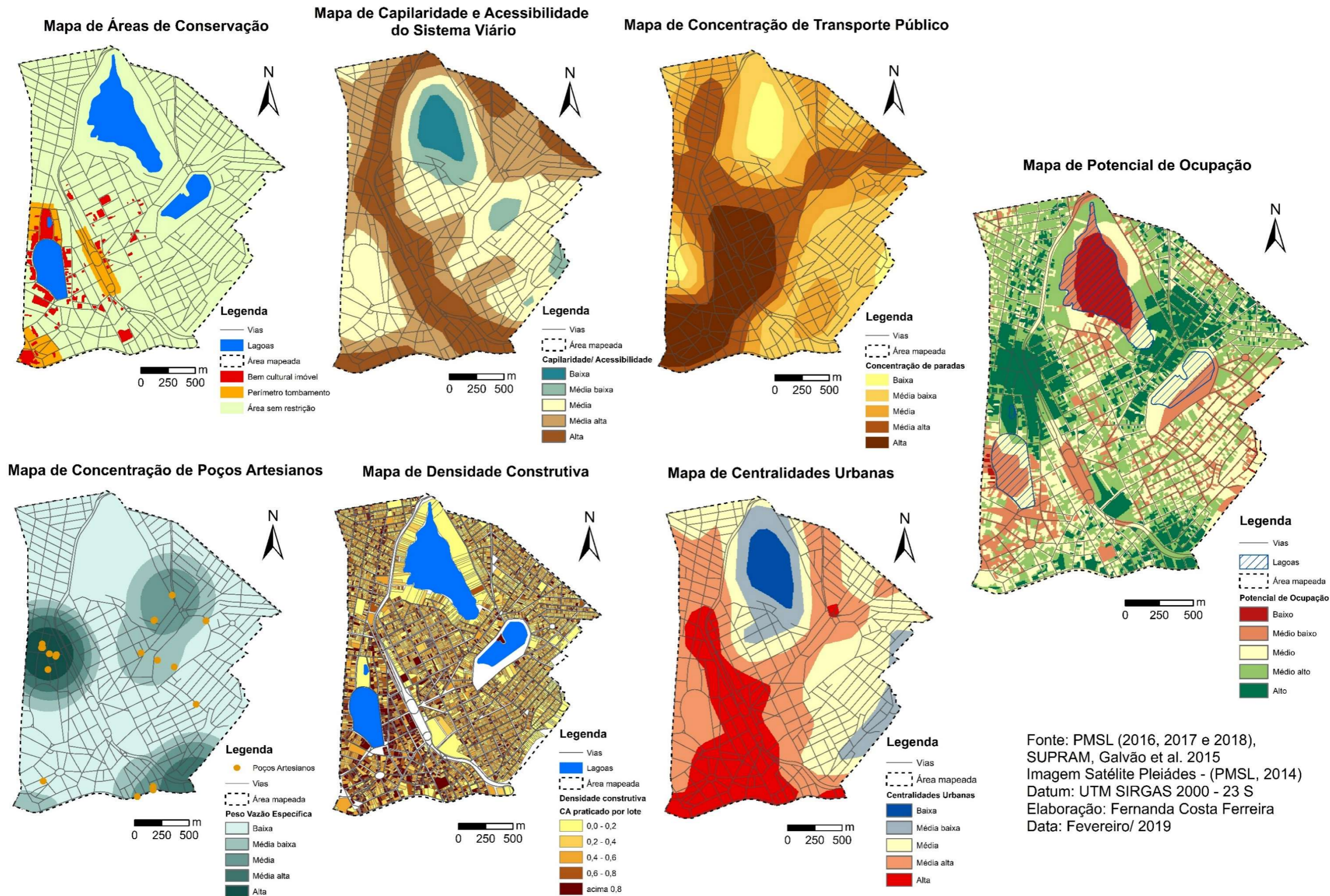


Figura 25: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de potencial de ocupação

## 4.6. Elaboração do Mapa de Capacidade de Suporte

O mapa síntese final representa a soma das variáveis de restrições ambientais e de potencial de ocupação realizada por meio de Análise Combinatória, onde o resultado foi o mapeamento da capacidade de suporte na área central de Sete Lagoas.

### 4.6.1. Construção de tabelas

Antes de realizar a última álgebra de mapas, foi necessário colocar o Mapa de Restrição Ambiental com o mesmo limite do Mapa de Potencial de Ocupação (Figura 09). Assim, o grid foi transformado em tiff, com o método *reclassify*, sendo então possível recortá-lo por meio da ferramenta *Extract by Mask*.

As notas estabelecidas nesta etapa foram apenas para separar os níveis de restrição ambiental e de potencial de ocupação, sendo que no caso do método de Análise Combinatória, a função das notas é a de torna-las seletivas ou nominais, por meio da análise individual de cada um dos resultados encontrados no cruzamento entre elas (Tabelas 33 e 34).

Tabela 33: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de restrição ambiental considerando a capacidade suporte

<b>RESTRIÇÃO AMBIENTAL</b>	
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>
Baixa	5
Média baixa	4
Média	3
Média alta	2
Alta	1

Tabela 34: Notas estabelecidas a cada critério do mapa de potencial de ocupação considerando a capacidade suporte

<b>POTENCIAL DE OCUPAÇÃO</b>	
<b>Critério</b>	<b>Nota</b>
Baixa	100
Média baixa	200
Média	300
Média alta	400
Alta	500

#### 4.6.2. Álgebra de Mapas

Os mapas das Áreas de Restrição Ambiental e de Potencial de Ocupação foram somadas por meio do método de Análise Combinatória, tendo como resultado final um Mapa Síntese de Capacidade de Suporte para a área central de Sete Lagoas (Figura 26).

Foram encontradas vinte e cinco combinações do cruzamento entre as variáveis, sendo eles agrupados a partir do julgamento segundo o interesse em realizar ações de proteção ambiental ou incentivar a ocupação urbana (Tabela 35).

A categoria de alta restrição ambiental resultante da álgebra, é a junção entre altos valores considerando o interesse de preservação ambiental com baixos valores para o interesse de ocupação. Já o alto potencial para ocupação urbana representa a lógica inversa a essa.

O uso ambiental com cuidados foi o resultado de áreas com alto interesse de preservação ambiental e médio interesse de ocupação urbana, sendo o primeiro aspecto preponderante ao segundo.

As áreas de conflito de interesses são aquelas que requerem maior atenção por parte do poder público por apresentarem altos valores, tanto para interesse de ocupação urbana quanto para necessidade de preservação ambiental. Também existem aquelas que possuem valores baixos para as duas situações e por isso podem ser consideradas áreas que não apresentam conflitos.


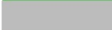


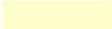


O peso nulo para capacidade de suporte foi atribuído a sobreposição de valores intermediários, tanto para os dados ambientais quanto urbanos. Nesses casos, cabe uma análise pontual do espaço urbano no processo ocupação, sendo talvez necessários alguns investimentos em infraestrutura ou intervenções que possam atenuar os impactos ao meio ambiente.

Por fim, tem-se o uso sustentável, correspondente às áreas de alto potencial de ocupação e médio interesse de preservação ambiental, onde o uso urbano prevalece mas requer alguns cuidados.

Tabela 35: Matriz de conflito resultante da análise combinatória entre o mapa de restrição ambiental e o mapa de potencial de ocupação para a área central de Sete Lagoas

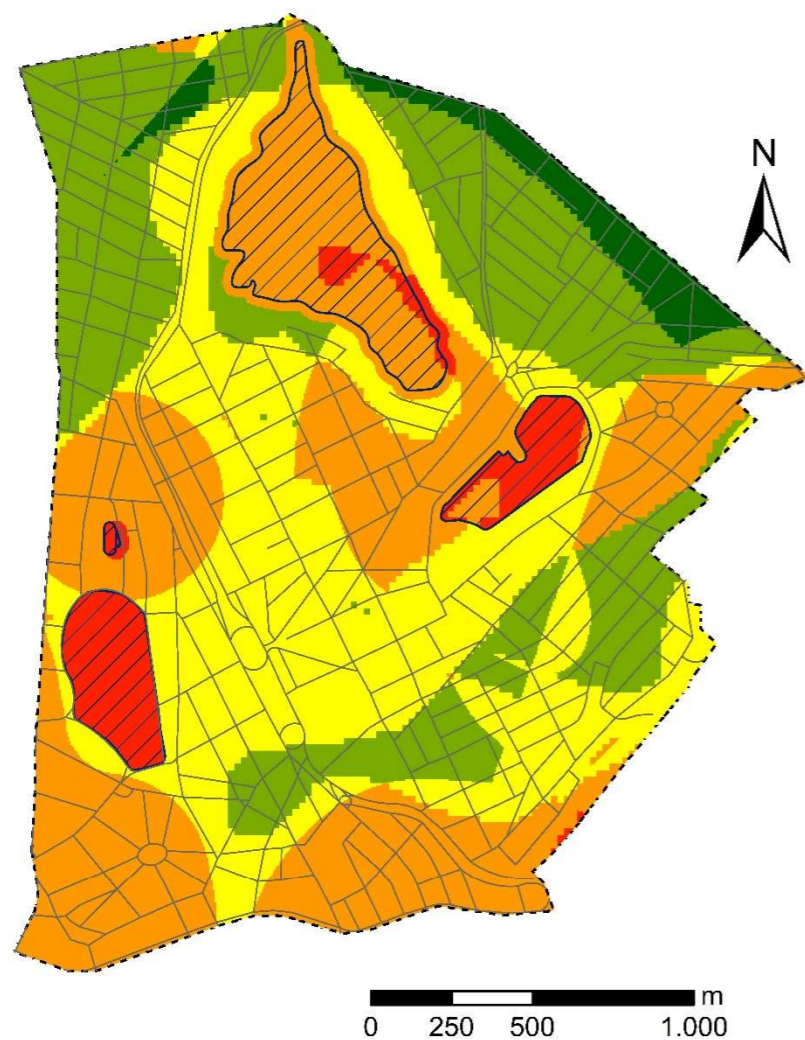
<b>Potencial de Ocupação</b>		<b>Alta</b>	<b>Média alta</b>	<b>Média</b>	<b>Média baixa</b>	<b>Baixa</b>
<b>Restrição Ambiental</b>		500	400	300	200	100
<b>Alta</b>	1	501	401	301	201	101
<b>Média alta</b>	2	502	402	302	202	102
<b>Média</b>	3	503	403	303	203	103
<b>Média baixa</b>	4	504	404	304	204	104
<b>Baixa</b>	5	505	405	305	205	105

Legenda

	Alta restrição ambiental
	Alto potencial para ocupação urbana
	Uso ambiental com cuidados
	Conflito de interesses
	Peso nulo para capacidade de suporte – Análises pontuais
	Sem conflito
	Uso sustentável

Fonte: Tabela adaptada pela autora, modelo de referência em ROCHA et al. (2018)

Mapa de Restrição Ambiental

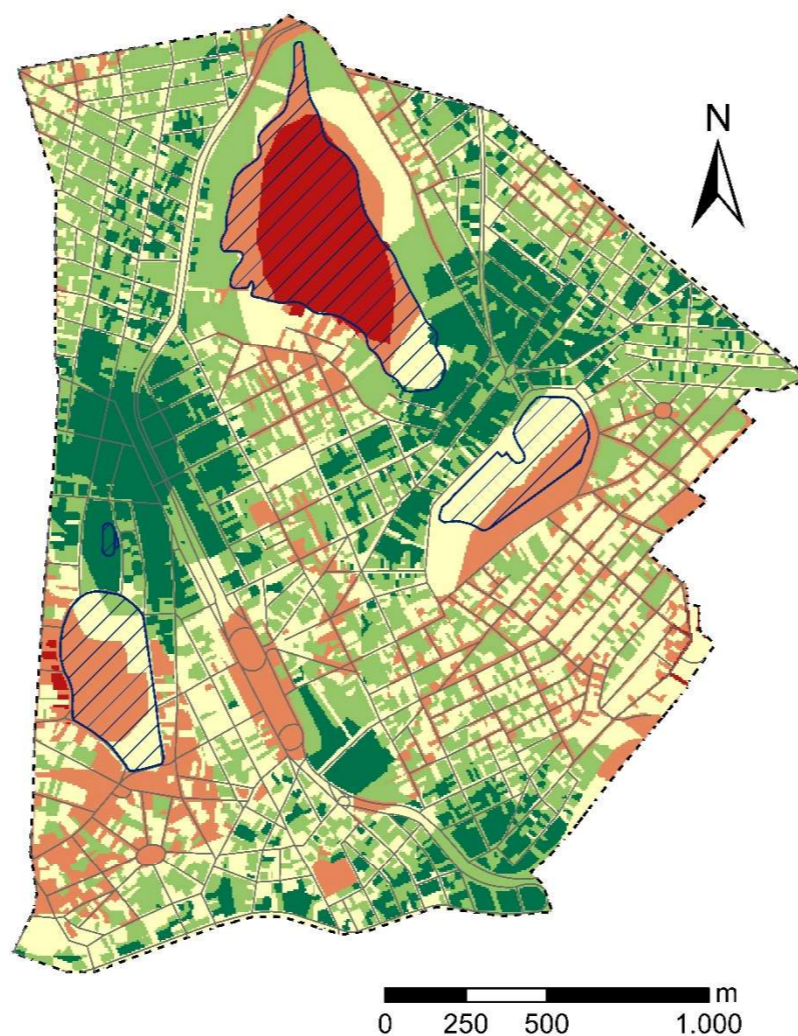


## Legenda



Fonte: Conforme indicação de cada mapa utilizado na análise multicritério  
 Datum: UTM SIRGAS 2000 - 23 S  
 Elaboração: Fernanda Costa Ferreira  
 Data: Fevereiro/ 2019

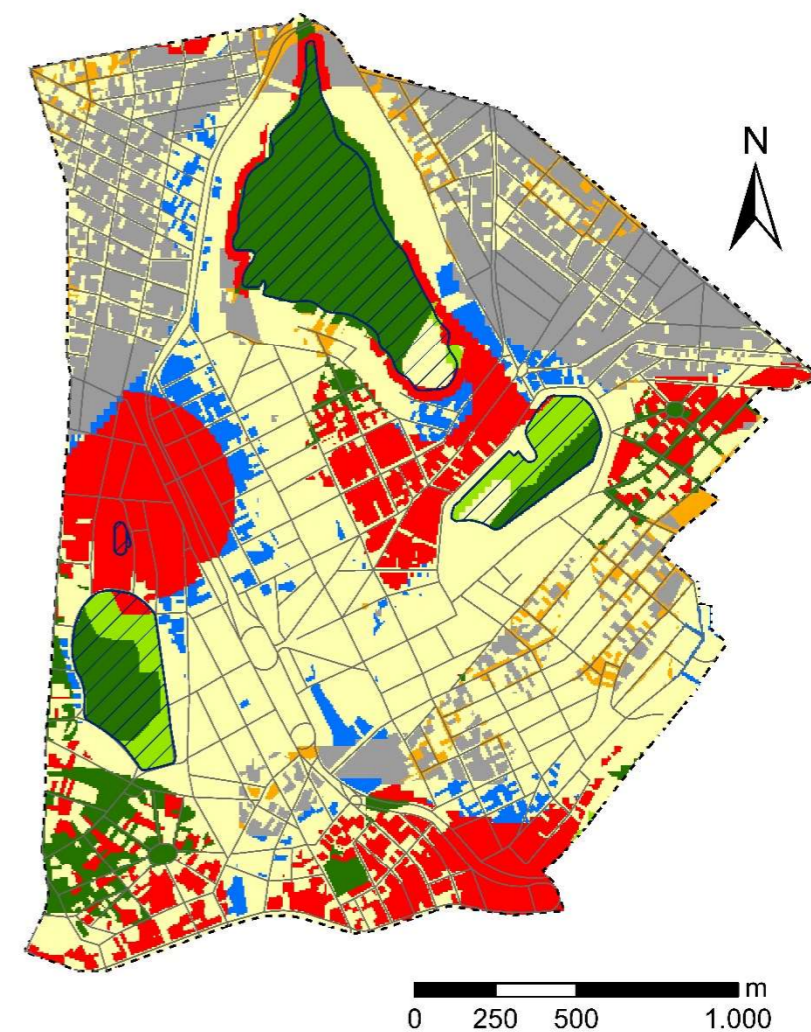
Mapa de Potencial de Ocupação



## Legenda



Mapa de Capacidade de Suporte



## Legenda



Figura 26: Diagrama de análise multicritérios para produção do mapa de capacidade de suporte

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação dos mapas elaborados e a criação de modelos de análise espacial possibilitaram o mapeamento da capacidade de suporte na área central de Sete Lagoas, considerando os níveis de utilização do espaço urbano que sejam condizentes com as características urbano-ambientais conciliando a necessidade de conservação com a possibilidade de densificação construtiva e populacional.

Foram obtidos resultados parciais ao longo do desenvolvimento do trabalho, pois o cruzamento final que resultou no Mapa de Capacidade de Suporte foi antecedido por outras quatro álgebras de mapas.

- Mapa de Risco Potencial à Abatimento

A primeira análise multicritérios teve como resultado o Mapa de Risco Potencial à Abatimento (Figura 12). Foram atribuídos 5 níveis de riscos à abatimento: alto risco, risco considerável, risco moderado, baixo risco e risco negligenciável. Os níveis mais altos apareceram na área central de Sete Lagoas ou em bairros próximos ao centro, sendo eles: Santa Luzia, Canaã, Piedade, São Geraldo, Chácara do Paiva, Dona Dora, Vila Brasil, Vapabuçu e Boa Vista.

Considerando a vulnerabilidade das rochas carbonáticas, que correspondem à uma parcela significativa do território de Sete Lagoas, foi atribuído na álgebra de mapas, o peso mais elevado a variável Fator de Risco Geológico (Figura 12). Portanto, os critérios com notas máximas nesse mapa tiveram influência decisiva sobre o mapeamento dos riscos de abatimento, que correspondem aos afloramentos calcários ou calcário coberto apenas por sedimentos inconsolidados. Esta conformação geológica aparece predominantemente na região central, enquanto que afloramentos calcários podem ser percebidos principalmente nas porções sudeste e sudoeste do perímetro urbano (Figura 27).

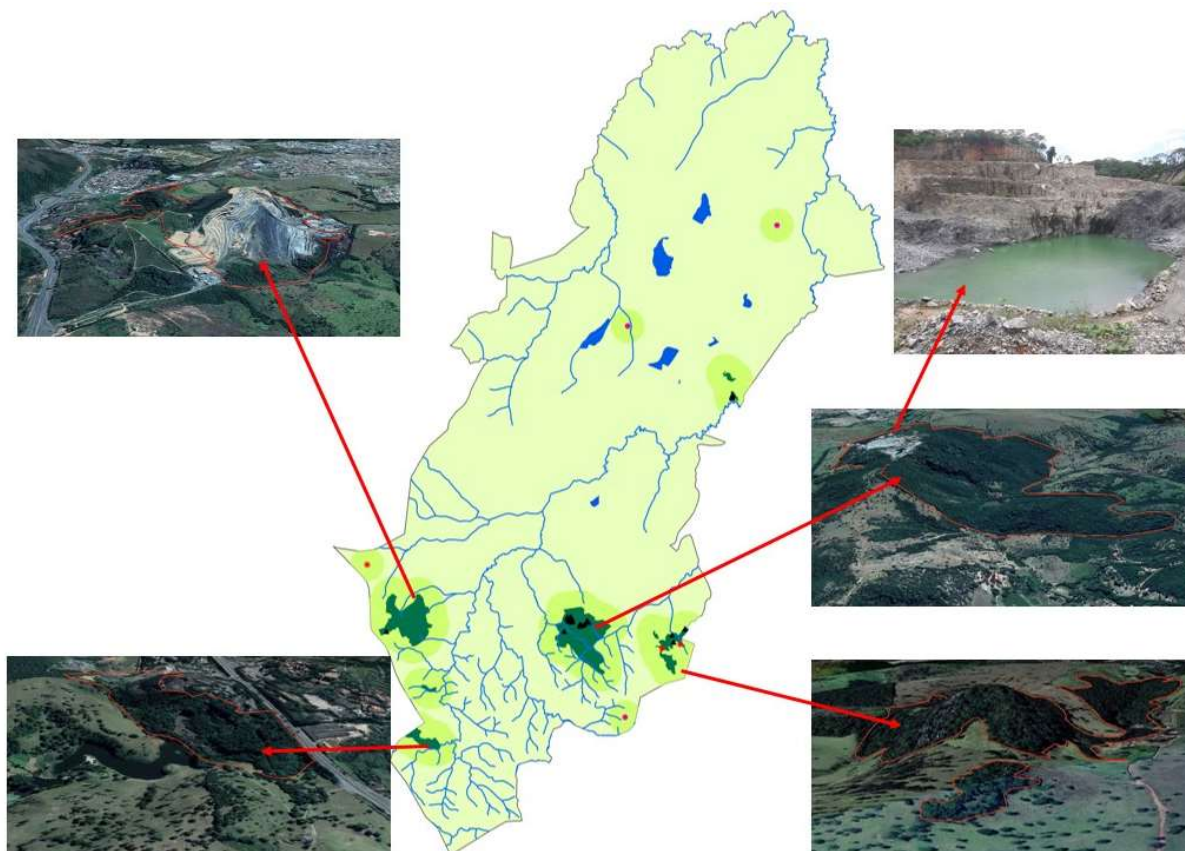


Figura 27: Afloramentos calcários localizados à sudeste e sudoeste de Sete Lagoas. Fonte: Google Earth (2018) e Foto cava de pedra de extração de calcário: registro feito pelo autor (2017)

Soma-se a essa questão, a alta densidade de registros de abatimentos ocorridos na região central de Sete Lagoas, sendo esta variável a segunda de maior peso na análise. A proximidade entre abatimentos pode ser explicada pela existência de um grande cone de rebaixamento na área central, formado pelos vários pequenos cones que foram gerados pelo excesso de água retirada dos poços artesianos dessa região (Galvão et al., 2015).

Portanto, as áreas onde ocorreram sobreposição da alta densidade de registros de abatimentos com calcários cobertos apenas por sedimentos inconsolidados apontou a região com alto risco a futuros abatimentos, correspondendo principalmente, à área central da cidade (Figura 28). Os afloramentos calcários mapeados não coincidiram com a região crítica de densidade de abatimentos, mas foram destaque na variável de Feições Cársticas, pois os indícios de carstificação superficiais geralmente apontam formação de condutos subterrâneas que também podem acentuar os riscos de colapsos. A sobreposição desses critérios fez com que eles aparecessem como risco considerável na análise. Nesta classe, também apareceram alguns registros de abatimentos que ocorreram de forma mais isolada.

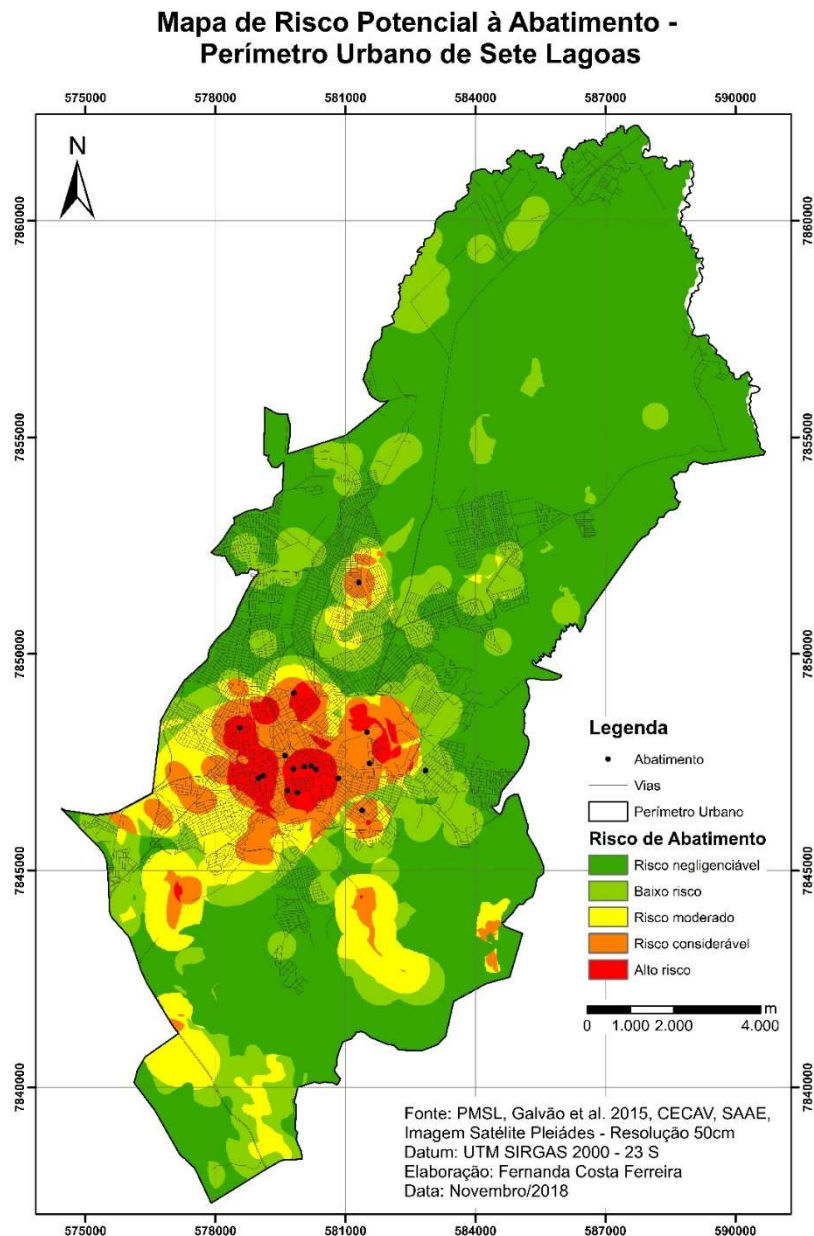


Figura 28: Mapa de risco potencial à abatimento em Sete Lagoas. (Fonte: PMSL, Galvão et al, 2015, CECAV e SAAE)

A mancha correspondente ao calcário coberto por camada fina de outra rocha no Mapa Fator de Risco Geológico geralmente representa os contatos abruptos existentes entre a camada de calcário e a Formação Serra de Santa Helena (Figura 12). Essa área corresponde à uma transição entre as duas conformações geológicas, sendo portanto, mais vulnerável aos processos do carste (GALVÃO et al., 2015). Dessa maneira, ela também teve destaque no resultado, aparecendo principalmente no nível de risco moderado à abatimento, coincidindo em muitas

situações, com critério mapeado para o raio de 500 metros no entorno das feições cársticas localizadas ao sul do perímetro urbano de Sete Lagoas.

A retirada excessiva de água subterrânea é responsável pela rápida movimentação das águas nos condutos além do rebaixamento do lençol freático, o que provoca muitas vezes o colapso do teto das galerias. Não foi atribuído um peso muito alto à essa variável, pois os abatimentos, geralmente estão associados à competência da rocha onde estão esses poços. Assim, pode acontecer de existirem poços com elevado volume de extração água, mas por estarem localizados em solo mais estável, o risco de abatimento não é tão significativo. Esse fato pode ser percebido nos poços artesianos de alta vazão situados ao norte de Sete Lagoas, onde não há registros de abatimento nas proximidades.

A área que corresponde ao risco negligenciável, ou seja, que pode ser desconsiderado, foi a classe de maior expressão no mapa, com 113,26 km<sup>2</sup>, representando aproximadamente 63,1% do território. Ela foi compreendida principalmente pelas áreas estáveis do complexo cristalino de Belo Horizonte e os calcários cobertos pela Formação Serra de Santa Helena, associados a não ocorrência de poços artesianos. Essas áreas apareceram nas regiões não parceladas e em bairros mais afastados do centro, com destaque para os localizados ao norte da cidade

A mancha que representa baixo risco de abatimento foi a segunda maior área encontrada no mapeamento, compreendendo aproximadamente 32,03 km<sup>2</sup> da superfície do perímetro urbano de Sete Lagoas, o que representa 17,86 % do território. Ela foi identificada nos locais de maior concentração de poços com baixa vazão específica ou em áreas que apresentam alguns tipos de feições cársticas não associadas à outros critérios na análise. A zona de contato abrupto entre o calcário e Formação Serra de Santa Helena, quando não sobreposta à outro critério de maior peso na análise, também aparece nesta faixa.

- Mapa de Áreas Potenciais para Recarga dos Aquíferos

Ainda na preparação dos dados ambientais, foi realizada uma segunda análise multicritérios que resultou nas Áreas Potenciais para a Recarga dos Aquíferos, definida por meio de cinco níveis de potencial de recarga (Figura 29).

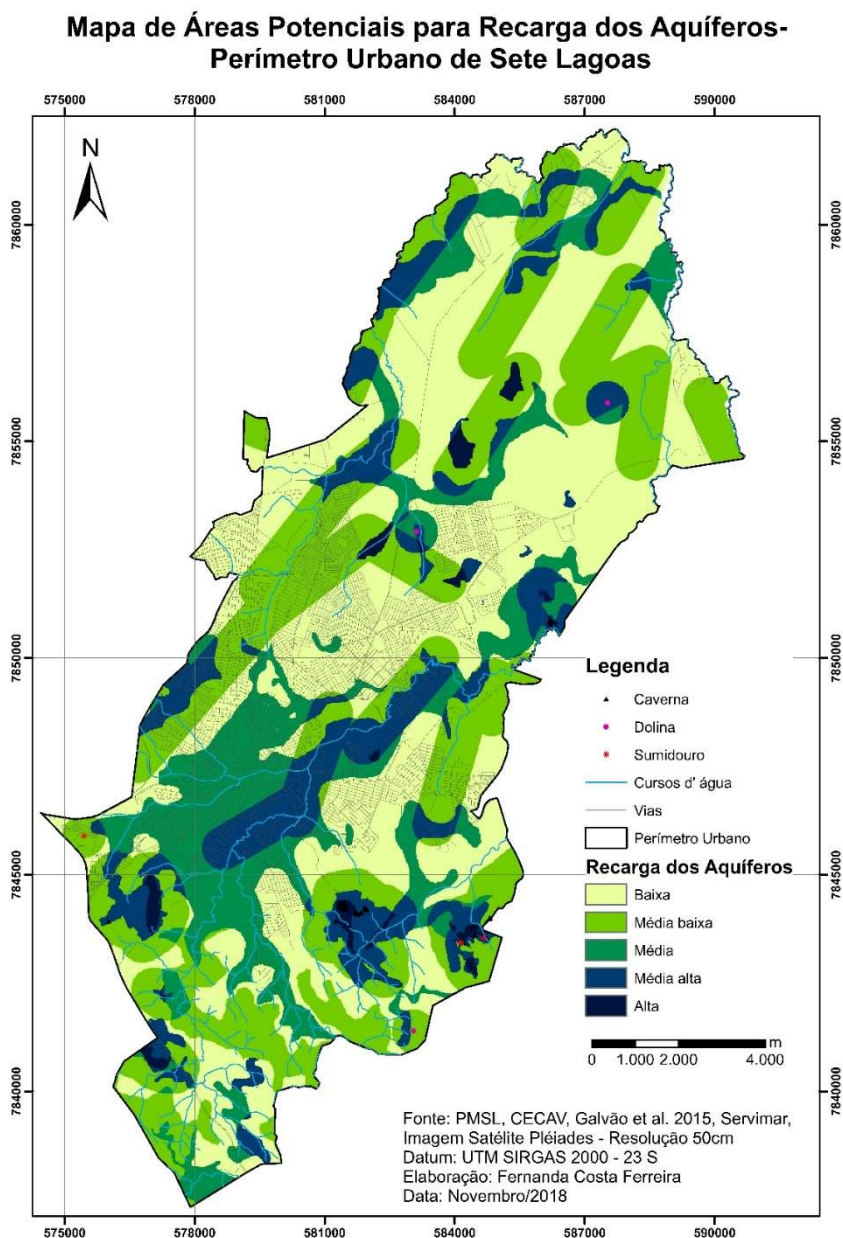


Figura 29: Mapa de áreas potenciais para a recarga dos aquíferos de Sete Lagoas (Fonte: PMSL, Galvão et al, 2015, CECAV, Servimar e Imagem de Satélite Pléiades)

Considerando o alto nível de interferência que as feições cársticas exercem sobre a recarga do aquífero, tanto as lagoas cársticas quanto os maciços calcários com a presença de sumidouros e cavernas, tiveram notas e pesos maiores na análise e consequentemente, apareceram nas faixas mais elevadas para potencial de recarga. Os maciços calcários que foram considerados com alto nível de recarga localizam-se em grande parte nas regiões sudeste e sudoeste, com destaque para o afloramento próximo ao córrego do Marinheiro (Figura 30).



Figura 30: Maciço calcário com grutas localizado na porção sudeste de Sete Lagoas próximo ao córrego do Marinheiro (Fonte João Herbert, 2017)

Apesar do calcário da região ser muito antigo e, por isso, já bastante preenchido por sedimentos (PESSOA, 1996), os afloramentos ainda podem ser considerados áreas de alto potencial para recarga, porque a maior incidência de aberturas na rocha provenientes da existência de sumidouros ou cavernas coincidem com os grandes maciços de calcário.

As lagoas cársticas de Sete Lagoas foram consideradas como a principal fonte de recarga em virtude dos seguintes fatores: algumas possuem sumidouros no fundo já identificados em período de estiagem; são dolinamentos geralmente formados nos pontos de fraturas da Formação Serra Santa Helena, possibilitando processos cársticos encobertos que permitem mesmo sem a existência de sumidouros, a absorção de água subterrânea; e o fato de que a maioria delas está localizada em áreas de baixa declividade, acentuando o potencial de absorção em função do acúmulo de água nesses pontos (Figura 31).

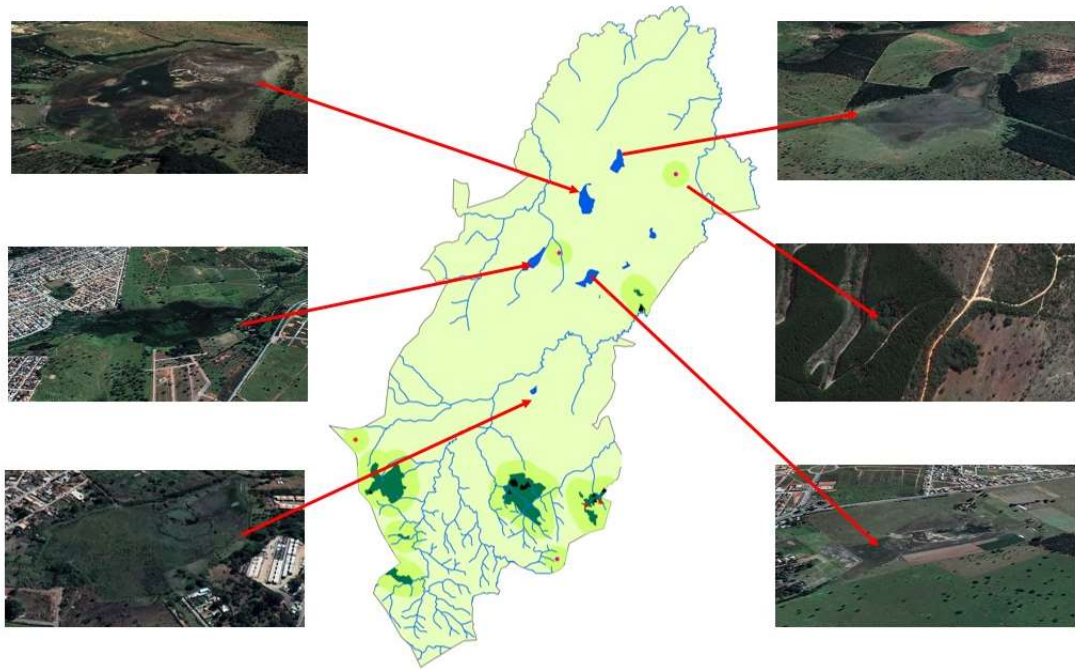


Figura 31: Lagoas cársticas e dolina identificadas em Sete Lagoas. Fonte: Google Earth (2018)

Essas lagoas encontram-se principalmente nas porções norte e nordeste do perímetro urbano. Duas delas, Lagoa Grande e Lagoa dos Patos, coincidem com uma zona de lineamentos estruturais da rocha, podendo ser a causa pela dissolução do calcário encoberto, já que as rochas existentes na Formação Serra de Santa Helena não possuem propriedades cársticas (Pessoa, 1996) (Figura 32).



Figura 32: Feições cársticas localizadas na região norte e nordeste de Sete Lagoas. Fonte: Google Earth (2018)

As áreas dos aquíferos cársticos também coincidiram com o alto nível de recarga, não só por terem recebido uma nota relativamente satisfatória no Mapa de Tipo de Aquíferos, mas principalmente por coincidirem com os maciços calcários que contém cavernas ou sumidouros.

O aquífero poroso associado à outros critérios favoráveis para a recarga, como a presença de lineamentos estruturais da rocha ou o entorno de 500 metros dos maciços calcários, também apresentou nível médio alto para potencial de recarga, aparecendo principalmente, nas regiões leste, central e norte do mapa.

Além disso, na porção nordeste, foi identificada uma mancha com recarga média alta, resultado do raio de 500 metros de uma dolina associada à presença de lineamentos estruturais da rocha (Figura 33).

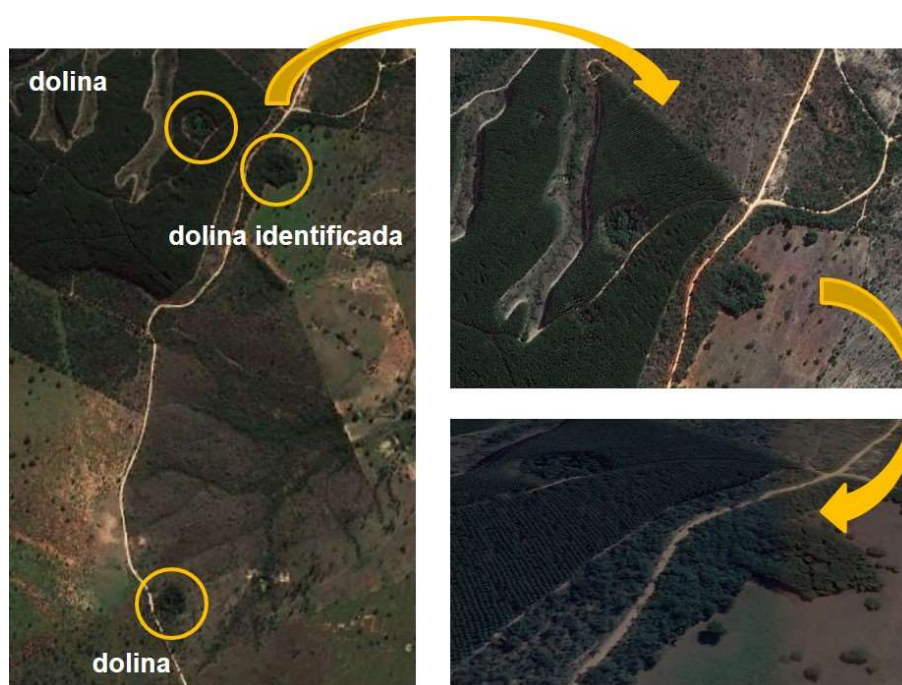


Figura 33: Dolina mapeada no mapa de feições cársticas à nordeste de Sete Lagoas e outras que não foram consideradas no mapa mas foram identificadas por imagem de satélite. Fonte: Google Earth (2018)

O nível médio para área de recarga apareceu principalmente nas regiões norte e central, correspondendo ao Aquífero Poroso não associado a outro critério na análise que fosse relevante. Tal aquífero, também conhecido como Granular, é composto por materiais de porosidade primária que possuem baixa permeabilidade, geralmente atribuída à presença de argilas, o que justifica a posição intermediária concedida a esse critério para recarga (PESSOA, 1996).

O nível Médio Baixo alcançado coincidiu com Aquífero Cristalino ou Aquiclude Serra de Santa Helena, quando associado às zonas de lineamentos estruturais da rocha. De fato,

nenhum dos dois tipos de aquífero apresenta boas condições de permeabilidade, por isso aparecem com potencial para recarga com tendência de média à baixa, ocupando aproximadamente 29,9 % do território urbano.

O Aquífero Cristalino, também chamado de Fraturado ou Fissural, corresponde ao domínio de rochas cristalinas, cuja capacidade de armazenamento da água subterrânea está restrita às zonas de interconexão de fraturas. Por isso, o Mapa de Lineamentos Estruturais da Rocha foi fundamental para detectar as áreas potenciais de recarga nesse aquífero.

Mesmo estando preenchidos por calcita ou veios de quartzo, os lineamentos foram considerados na análise como pontos de potencial de recarga dos aquíferos. Porém, em virtude desse preenchimento, o dado foi considerado de menor importância para a recarga.

Por estar coberto por rochas mais impermeáveis, o Aquífero Serra de Santa Helena também não possui boa absorção, mas conseqüentemente, funciona como filtro natural de possíveis contaminantes superficiais (PESSOA 1996; BOTELHO, 2008). Em virtude dessa impermeabilidade, foi denominado no Estudo Hidrogeológico feito pela Servimar (PMSL, 2013) como “aquiclude”, que quer dizer rochas que possuem uma permeabilidade baixa, não permitindo que a água flua em seu meio. Esse critério isolado na álgebra de mapas foi classificado como baixo potencial de recarga para os aquíferos devido suas propriedades, ocupando cerca de 39% do território.

- Mapa de Restrição Ambiental

Os mapas resultantes das álgebras anteriores foram cruzados com as variáveis cobertura vegetal relevante e áreas de proteção permanente. O resultado desta álgebra foi o Mapa de Restrição Ambiental, também dividido em cinco níveis de restrição (Figura 34).

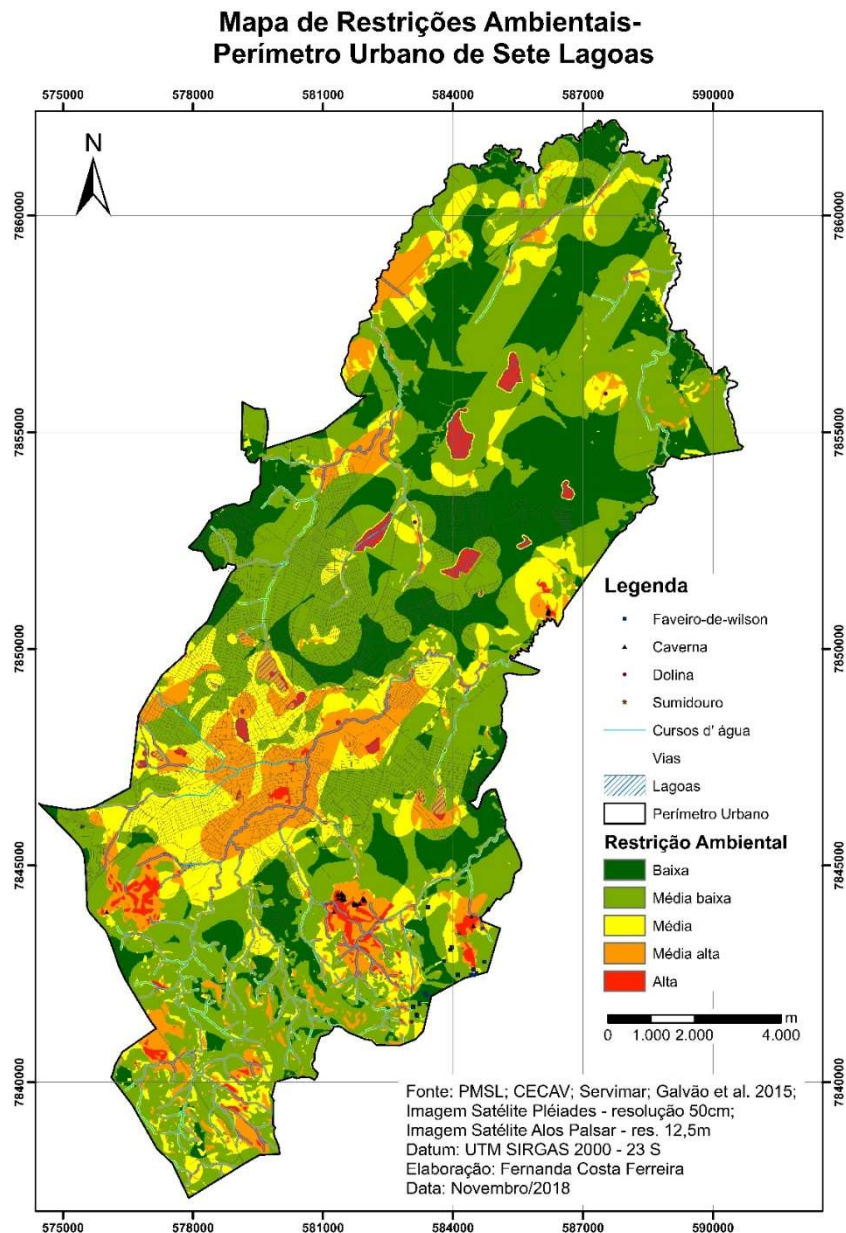


Figura 34: Mapa de restrição ambiental em Sete Lagoas. Fonte: PMSL, CECAV, Servimar, Galvão et al. 2015, Imagem de Satélite Pléiades, Imagem de Satélite Alos Palsar

A classe de alta restrição ambiental corresponde a menor área encontrada no mapa, seguida da categoria média alta. Elas apareceram com área de 6,06 km<sup>2</sup> e 25,27 km<sup>2</sup> respectivamente, o que representa 3,38% e 14,09% do perímetro urbano de Sete Lagoas. Contudo, algumas dessas áreas requerem maior atenção por parte do poder público em virtude dos impactos já percebidos sobre elas.

Na porção norte de Sete Lagoas, os principais recursos naturais presentes na categoria de alta restrição ambiental são as lagoas cársticas. Elas têm sido alvo de estudos por parte de

vários pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e de outras instituições, além de serem tema de diversos trabalhos acadêmicos. A prefeitura tem investigado mais profundamente quais delas realmente possuem uma comunicação direta com sistema hídrico subterrâneo e os possíveis impactos que a extração de água dos aquíferos tem causado sobre elas. O fato é que, todas essas lagoas que foram apontadas como cársticas, sofreram redução considerável no volume hídrico ou estão secas.

O caso da Lagoa Grande merece destaque, pois em “2005, apresentava uma área de 797,47 m<sup>2</sup> e em 2015, sua área passou a ser de 82,02 m<sup>2</sup>, o que significa uma redução 89,7% da sua área, sendo mais significativa entre o período de 2014 a 2015” (GUIMARÃES, 2015) (Figura 35).



Figura 35: Imagens de satélite do Google Earth Pro mostrando a Lagoa Grande nos anos de 2005, 2008 e 2018, respectivamente

Em 2014 foi criada a Comissão Especial Lagoa Grande composta por vereadores da Câmara Municipal de Sete Lagoas, que tinha por objetivo investigar os fatores responsáveis pela redução em seu volume de água. Na época, os vereadores juntamente com técnicos da área ambiental fizeram um relatório apontando três aspectos que poderiam ser responsáveis por isso: uso excessivo de água para atividades industriais, ruptura da barragem Olhos d'água e mudanças climáticas (Comissão Lagoa Grande, 2015).

No relatório, foi ressaltado que a fábrica de cerveja Ambev instalada em Sete Lagoas em 2008, era responsável até a data do documento, por aproximadamente 60% da água retirada dos poços artesianos de toda a cidade (Comissão Lagoa Grande, 2015). A maioria dos municípios também acredita que uso da água para abastecer as indústrias da região foi a principal causa do esvaziamento da lagoa.

Em decorrência do baixíssimo volume de água da lagoa, foi possível detectar a existência de sumidouros no fundo, indício de comunicação entre os regimes hídricos superficial e subterrâneo (Figura 05).

Assim, é possível correlacionar a extração excessiva de água dos aquíferos, à diminuição considerável do volume de água da lagoa, pois o esvaziamento das galerias subterrâneas, aliado a movimentação provocada pelo bombeamento dessa água, podem causar o escoamento da água superficial para os condutos subterrâneos.

Ainda na região norte do perímetro urbano de Sete Lagoas, alguns trechos da faixa de proteção de 30 metros nas margens dos córregos que deságuam no Ribeirão Jequitibá, apareceram na categoria de alta restrição ambiental. Esses trechos de APP's estão associados à outros critérios de relevância ambiental como, existência de mata silvestre e a sobreposição ao aquífero poroso (Figura 36). Quando não correlacionadas à outra variável, essas APP's geralmente apareceram nas categorias média alta e média restrição ambiental.



Figura 36: APP's de alta restrição ambiental na região norte nas proximidades do loteamento Catavento. Fonte: Google Earth (2018)

O entorno das lagoas cársticas localizadas na porção norte e nordeste, onde também foram mapeadas as faixas de proteção de 30 metros das APP's, apresentou-se no mapa com um nível de média restrição ambiental.

À nordeste apareceram manchas com restrição ambiental média a alta, que são fruto da existência de cobertura expressiva de matas silvestres em terrenos com declividade superior a 30%. Ainda na porção nordeste, tem-se as regiões de dolinamentos com alto potencial de recarga e que aparecem associadas à cobertura de mata silvestre, apresentando-se também na categoria de média alta restrição ambiental. A cerca de 5 km ao sul desse local, tem-se também

uma outra mancha na mesma categoria ou com alta restrição ambiental, formada por maciços calcários com a presença de cavernas. As áreas apresentam potencial de recarga de aquíferos associadas à risco moderado de abatimento, localizadas em trechos de declividade superior a 30% e cobertura vegetal densa (Figura 37).

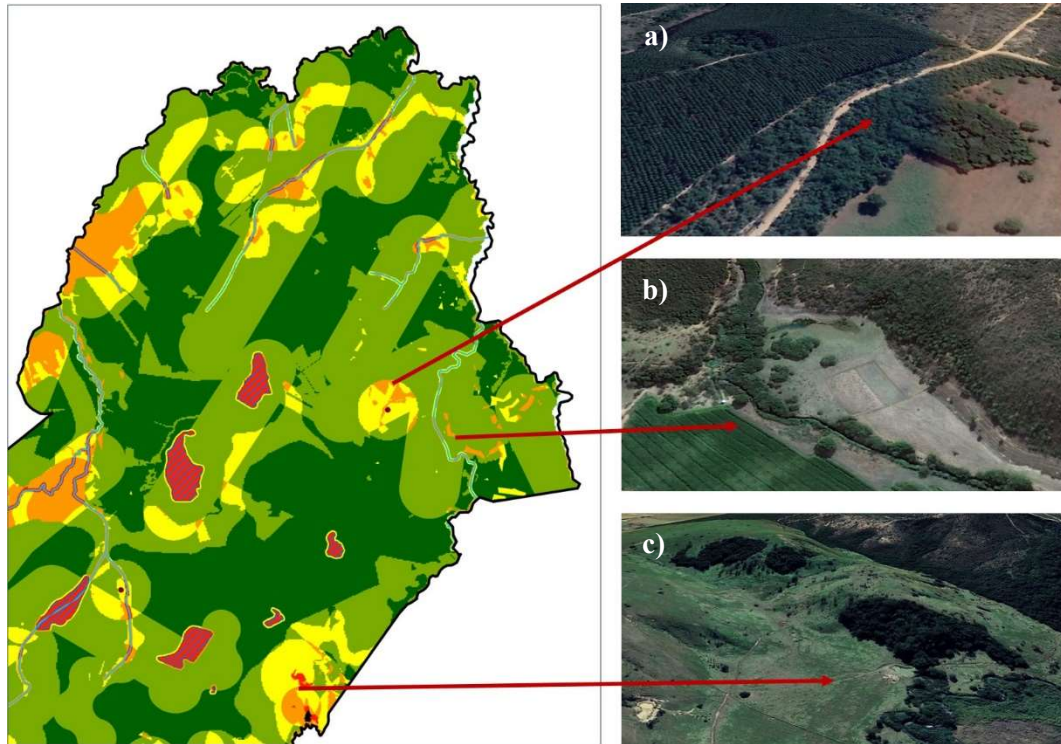


Figura 37: Áreas de restrição ambiental classificadas como média alta, localizadas na região nordeste de Sete Lagoas, a) dolinamentos com mata silvestre; b) mata silvestre em terrenos com declividade superior 30%; c) maciços calcários com cavernas cobertos por mata silvestre. Fonte: Google Earth (2018)

Aproximando-se da área urbanizada do perímetro, na porção noroeste de Sete Lagoas, também apareceram registros de alta restrição ambiental e extensas manchas na categoria de média alta restrição ambiental. Estas últimas, correspondem à áreas de alto potencial para recarga formadas a partir da combinação entre a existência do aquífero poroso em uma zona de lineamentos estruturais da rocha. Além disso, a região apresenta dolinas, lagoas cársticas, registro de abatimento e trechos de mata silvestre (Figura 38).

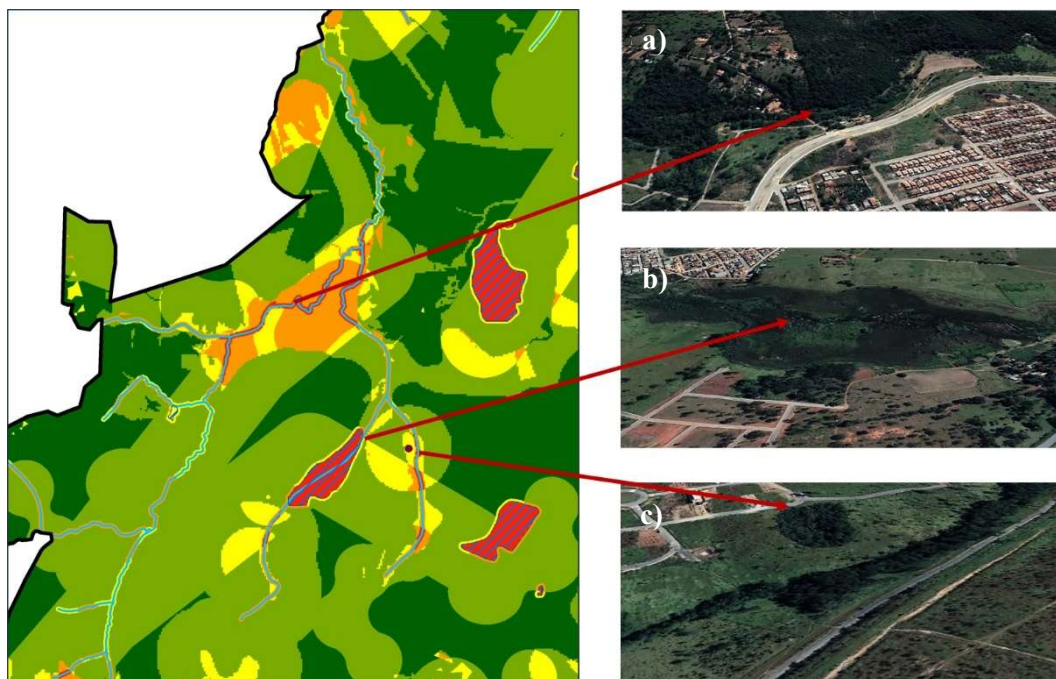


Figura 38: Áreas de restrição ambiental classificadas como média e média alta, localizadas na região noroeste de Sete Lagoas, a) APP's de curso d'água em áreas de alto potencial para recarga dos aquíferos cobertas com mata silvestre e; b) área de abatimento sobreposta à lagoa cárstica Capão do Poço em região de alta a média densidade de lineamentos; c) dolina sob aquífero poroso com fragmentos de mata silvestre. Fonte: Google Earth (2018)

Na região centro-oeste, que compreende a parte mais urbanizada de Sete Lagoas, também apareceram áreas classificadas nas categorias de alta e média alta restrição ambiental. Dentre essas áreas, existem aquelas que são pontuais por se tratarem de APP's ou fragmentos de mata silvestre correspondentes à chácaras, glebas não loteadas e uma grande área de subestação da Cemig (Figura 40). Entretanto, a maior extensão encontrada na região centro-oeste com nível médio alto de restrição ambiental representa as áreas com riscos de abatimento sobrepostas à áreas com potencial de recarga dos aquíferos (Figura 39).

A categoria de média restrição ambiental apareceu de forma expressiva na região centro-oeste. Ao todo, ela possui uma área de 26,90 km<sup>2</sup>, que representa 15% do perímetro urbano. A categoria média baixa, que também apareceu significativamente na região centro-oeste, representa a área mais extensa dentre os níveis de restrição ambiental mapeados para Sete Lagoas, com uma área total de 80,57 km<sup>2</sup>, o que significa 49,9% do perímetro urbano.

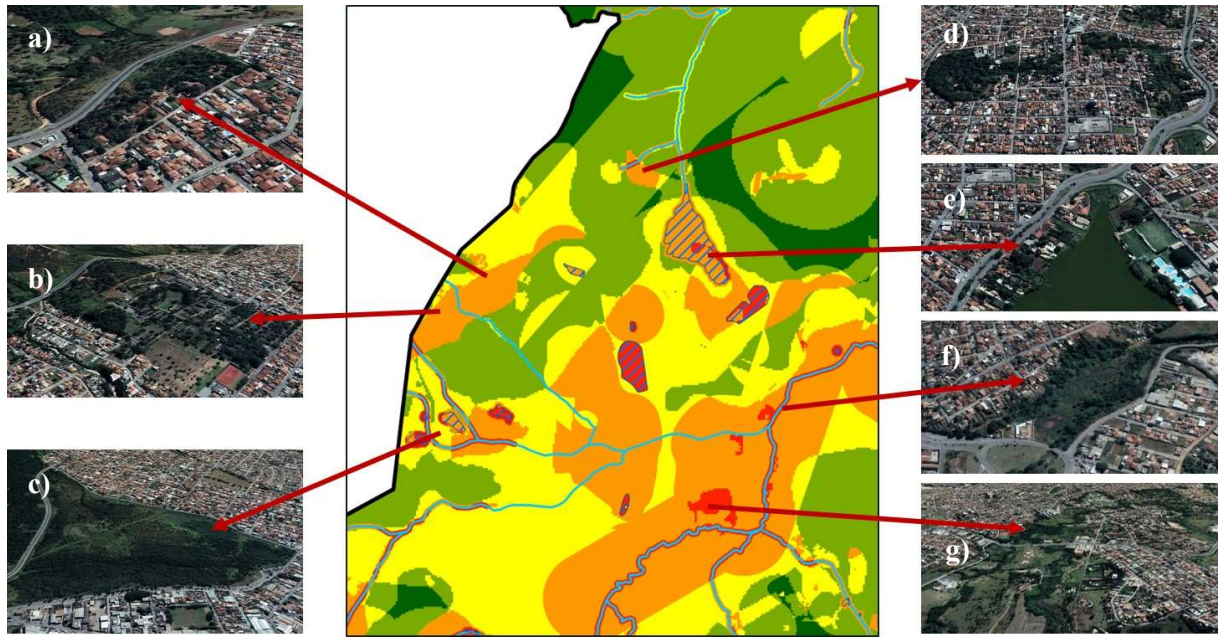


Figura 39: Áreas de restrição ambiental classificadas como alta e média alta, localizadas na região centro-oeste de Sete Lagoas, a) chácaras no Bairro Santa Rita de Cássia; b) área de subestação da Cemig; c) gleba não parcelada com a existência de lagoas que se formam em período de cheia; d) gleba não parcelada com cursos d'água e nascentes; e) chácaras pouco edificadas no entorno da lagoa José Félix. f) APP de curso d'água em áreas de mata silvestre; g) APP de curso d'água em áreas de mata silvestre. Fonte: Google Earth (2018)



Figura 40: Fotos das áreas de restrição ambiental classificadas como alta e média alta, localizadas na região centro-oeste de Sete Lagoas, a) chácaras no Bairro Santa Rita de Cássia; b) área de subestação da Cemig; c) gleba não parcelada com a existência de lagoas que se formam em período de cheia; d) gleba não parcelada com cursos d'água e nascentes; e) APP de curso d'água em áreas de mata silvestre; f) APP de curso d'água em áreas de mata silvestre. Fonte: Registro feito pelo autor (2018) e Google Maps (2014)

Na região centro-leste do perímetro urbano, assim como na centro-oeste, tem-se uma área de ocupação já bastante consolidada, onde há uma extensa mancha classificada como média alta restrição ambiental, além de algumas áreas pontuais de alta restrição ambiental. De modo geral, constituem trechos do aquífero poroso associado às zonas de lineamentos, proporcionando à área alto potencial de recarga dos aquíferos. A Figura 41 destaca os principais pontos de restrição ambiental da região.

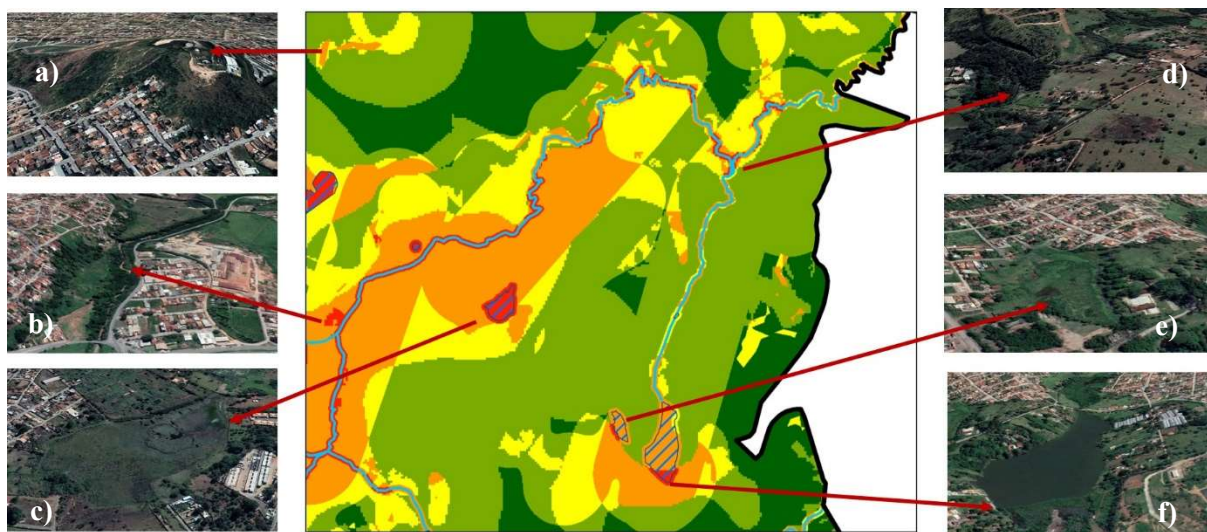


Figura 41: Áreas de restrição ambiental classificadas como alta e média, alta localizadas na região centro-leste de Sete Lagoas, a) Morro São João; b) Área de APP; c) Região da lagoa Matadouro; d) Área de chaceamento no bairro Tamanduá; e) Lagoa em área de recarga aquíferos e f) Lagoa em área de recarga de aquíferos. Fonte: Google Earth (2018)

A porção sudeste do perímetro urbano de Sete Lagoas é uma região rica em recursos naturais, tornando-se objeto de estudos pela EMBRAPA, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e PMSL. Atualmente, há um projeto para transformá-las em APA's, sendo elas: APA do Marinheiro e APA dos Machados. Trata-se de uma região de terrenos acidentados com presença de maciços calcários, várias cavernas e sumidouros que possibilitam a entrada de água fazendo com que a área tenha um elevado potencial de recarga do aquífero e risco considerável à abatimento (Figura 42 e 43). Além disso, existem trechos com grandes porções de mata silvestre, incluindo espécies de Faveiros-de-wilson, árvore protegida nacionalmente (Figura 44).

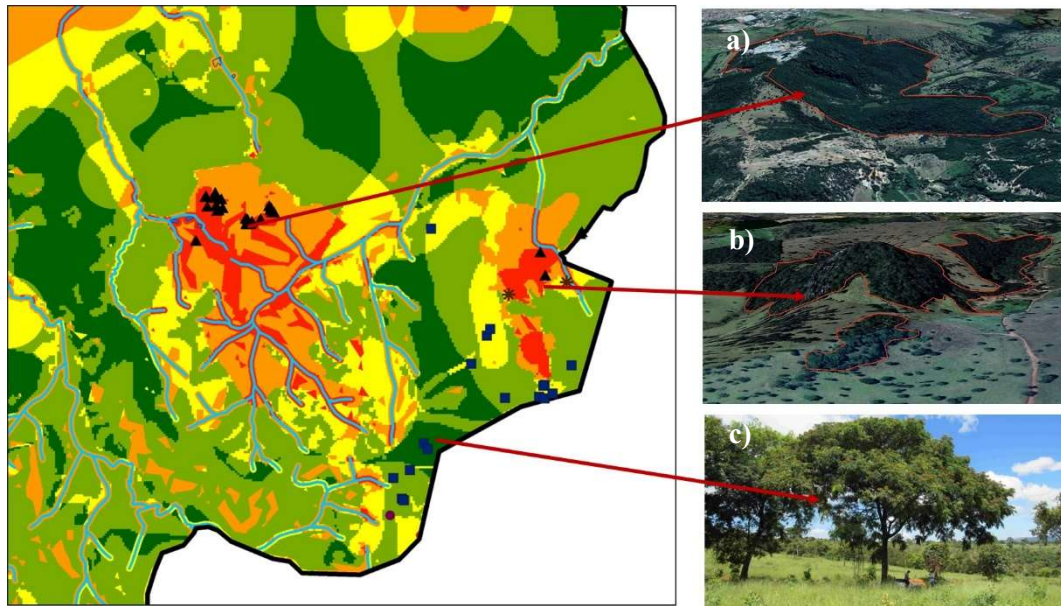


Figura 42: Áreas classificadas como de restrição ambiental alta e média alta, localizadas na região sudeste de Sete Lagoas, a) Maciço calcário da empresa ILCOM; b) Maciço calcário próximo ao córrego Marinheiro; c) Faveiro-de-wilson. Fonte: Google Earth (2018) e registro Faveiro-de-wilson feito pelo técnico da EMBRAPA João Herbert



Figura 43: Tipologia da região sul e sudeste do perímetro urbano de Sete Lagoas. Relevo bastante acidentado, resultado da existência de maciços calcários e da litologia predominante da área que é o complexo cristalino de Belo Horizonte. Fonte: Registro feito pelo autor (2018)

Têm sido realizadas várias pesquisas para a identificação das espécies existentes de Faveiros-de-wilson e para saber quais são as condições ambientais e climáticas que favorecem o desenvolvimento da espécie na região de Sete Lagoas. A EMBRAPA e a UFMG, juntamente com a Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte, um dos órgãos responsáveis pelo PAN Faveiro-de-wilson (2014), são as instituições diretamente envolvidas (Figura 44). A maior concentração da espécie em Sete Lagoas está na região sudeste, sendo

portanto, fundamental o levantamento florístico da área antes de qualquer iniciativa de ocupação. A recomendação dos técnicos envolvidos no plano de conservação foi aplicada na elaboração do mapa de cobertura vegetal relevante, considerando um raio de proteção de 20 metros no entorno de espécies isoladas, além de propor a proteção do fragmento de mata silvestre que apresenta Faveiros-de-wilson.



Figura 44: Equipe da EMBRAPA e UFMG trabalhando na identificação das espécies de Faveiros-de-wilson em Sete Lagoas e na análise das condições favoráveis para o seu desenvolvimento. Fonte: Registro feito pelo técnico da EMBRAPA João Herbert, 2017

A porção sul e sudoeste apresentam alguns bairros e condomínios recentes, por isso são regiões pouco adensadas, mas que tem sido vetor de crescimento nos últimos anos com predominância de tipologias residenciais de alto padrão (Figura 45). A área é constituída por relevos acidentados e apresenta grande beleza cênica em virtude da abundância de cursos d'água e da cobertura vegetal ainda bastante preservada. O complexo cristalino de Belo Horizonte predomina nessas regiões, sendo responsável pela topografia irregular. Além disso, existem grandes maciços calcários na área, alguns de propriedade de mineradoras.

Em virtude dessas características, as porções sul e sudoeste do perímetro urbano de Sete Lagoas apresentaram inúmeros pontos classificados com alta e média alta restrição ambiental, provenientes de afloramentos calcários com declividade superior à 30%, sendo eles, áreas potenciais para a recarga dos aquíferos e com risco de abatimento. Devido à dificuldade de ocupação nessas áreas, a cobertura vegetal permanece bastante preservada, sobretudo nas margens dos córregos.

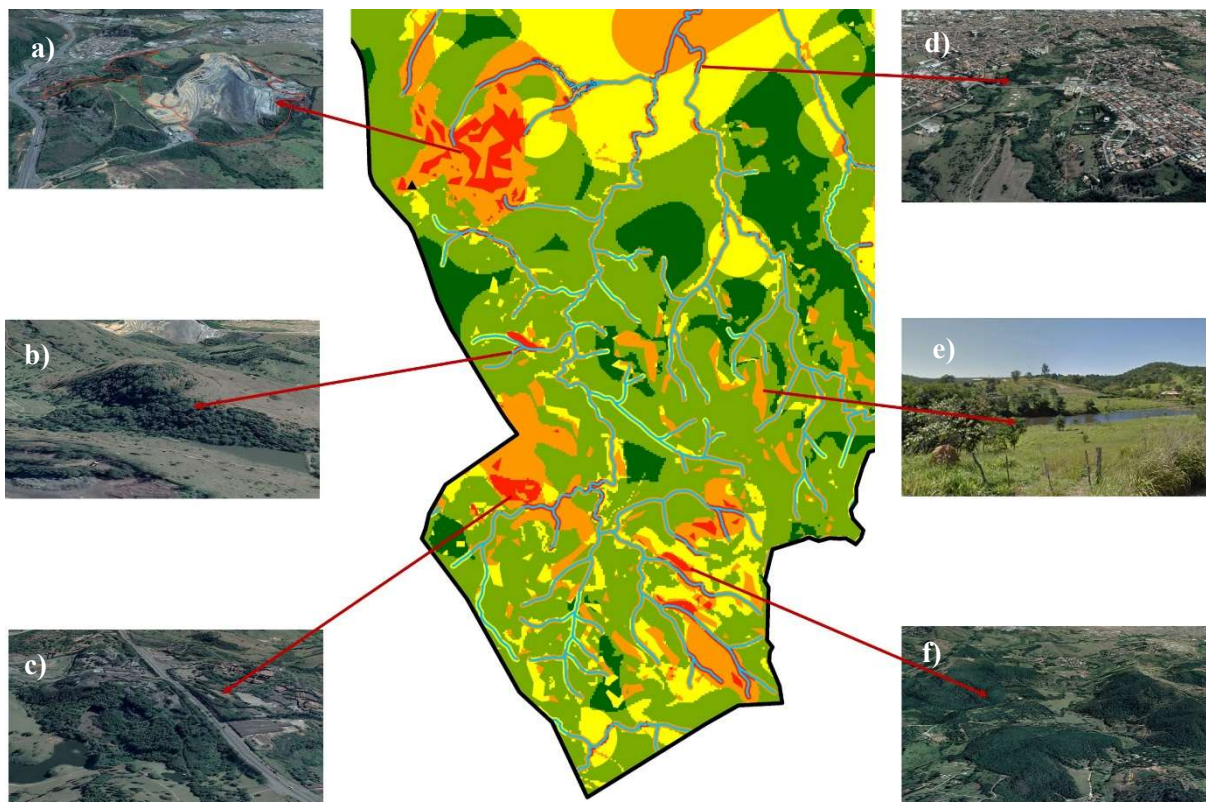


Figura 45: Áreas de restrição ambiental classificadas como alta e média alta, localizadas na região sul e sudoeste de Sete Lagoas, a) Mineradora Tecnosulfur SA b) Maciço calcário; c) Afloramentos calcários na área da empresa Siderpam; d) Matas ciliares ao longo dos cursos d'água próximos aos bairros da região sul; e) Condomínio Lagos do Moinho; f) Maciço calcário cobertos com mata silvestre. Fonte: Google Earth (2018) e Google Maps (2014)

Conforme mencionado, a maior parte do território de Sete Lagoas apresenta média baixa restrição ambiental seguida pela categoria de baixa restrição, que representa 39,81 km<sup>2</sup> de área, correspondendo à 22,2% do perímetro urbano. Ela aparece principalmente ao norte, em terrenos não urbanizados, sendo um indicativo de áreas favoráveis à expansão urbana.

- Mapa de Potencial de Ocupação

O Mapa de Potencial de Ocupação foi dividido em 5 classes: alto, médio alto, médio, médio baixo e baixo potencial de ocupação (Figura 46). Embora o mapeamento tenha sido realizado para a área central, o resultado apresentou uma qualidade heterogênea, pois incluiu na área mapeada alguns bairros limítrofes ao centro com tipologia residencial.

Os índices mais altos para potencial de ocupação foram representados em verde escuro e apareceram preferencialmente nos bairros residenciais onde a infraestrutura foi satisfatória

considerando as variáveis da análise. Destacam-se as regiões oeste, sudeste e nordeste da área mapeada.

Os bairros à oeste, apresentaram alto índice de capilaridade e acessibilidade viária, pois são cortados longitudinalmente por dois grandes eixos viários, Av. Múcio José Reis (Av. Norte Sul) e Rua Professor Abeylard, fazendo a ligação entre vários bairros de Sete Lagoas e o centro da cidade. Além disso, as duas vias também dão acesso ao povoado de Silva Xavier e a cidade de Araçáí.

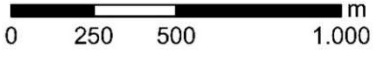
A Av. Múcio José Reis, mais conhecida como Av. Norte Sul, apresenta aproximadamente 35 metros de largura, com 2 faixas de rolamento, um canteiro central, acostamentos e pistas de ciclovia no dois sentidos (Figura 47). A avenida possui um intenso fluxo de veículos e pouca circulação de pedestres no trecho mapeado por ser ocupada principalmente por chácaras e algumas residências. Em seu cruzamento com as Ruas Goiás e Pedro Maciel o fluxo de pedestres se torna maior em função da existência de uma escola estadual, um supermercado, um clube e uma unidade do SESC nas proximidades (Figura 48).

### Mapa de Potencial de Ocupação



#### Legenda

- Vias
  - Lagoas
  - Área mapeada
- Potencial de Ocupação**
- Baixo
  - Médio baixo
  - Médio
  - Médio alto
  - Alto



Fonte: Prefeitura Municipal de Sete Lagoas  
Datum: UTM SIRGAS 2000 - 23 S  
Elaboração: Fernanda Costa Ferreira  
Data: Fevereiro/ 2019

Figura 46: Mapa de potencial de ocupação da área central de Sete Lagoas

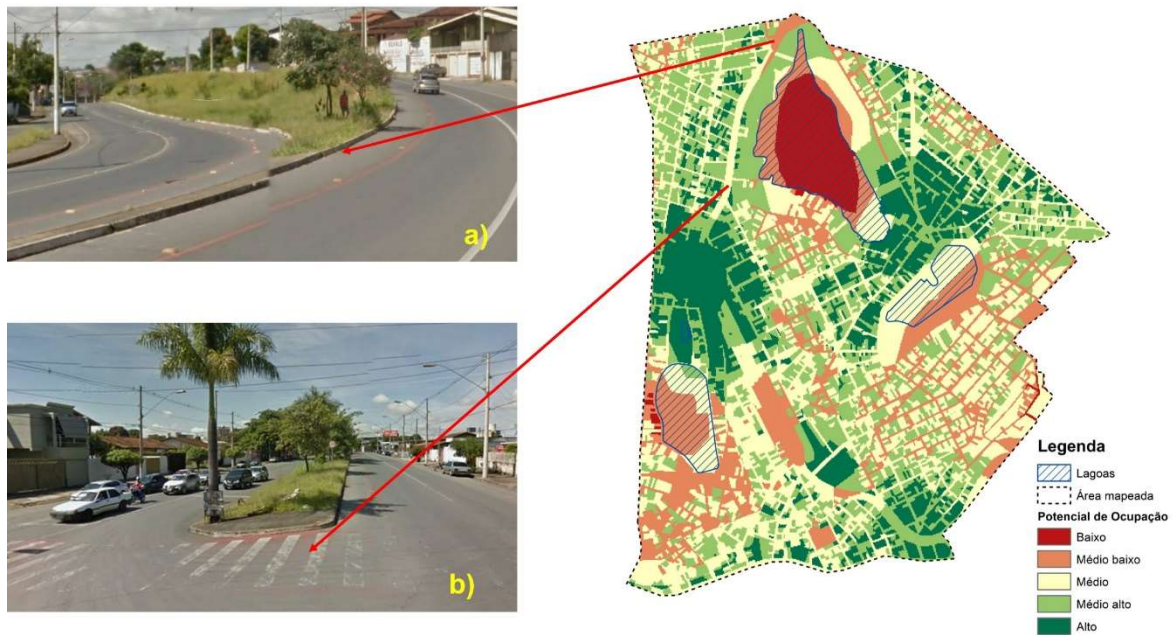


Figura 47: Localização de dois pontos da Av. Múcio José Reis, a) Trecho próximo ao viaduto de encontro entre a Av. Múcio José Reis e Rua Santa Helena, b) Trecho do cruzamento entre Av. Múcio José Reis, ruas Goiás e Pedro Maciel. Fonte: Google Street View (2017)



Figura 48: Equipamentos existentes nas proximidades do cruzamento entre a Av. Múcio José Reis e as Ruas Pedro Maciel e Goiás. Fonte: Google Earth (2018)

As linhas de ônibus que circulam na Av. Múcio José Reis e na Rua Professor Abeylard atendem aos usuários de transporte público que moram nos bairros das regiões oeste, noroeste e norte de Sete Lagoas. A Rua Professor Abeylard dispõe de grande concentração de comércios e serviços, incluindo supermercados, sacolão, padarias, bares, postos de gasolina, dentre outros (Figura 49).

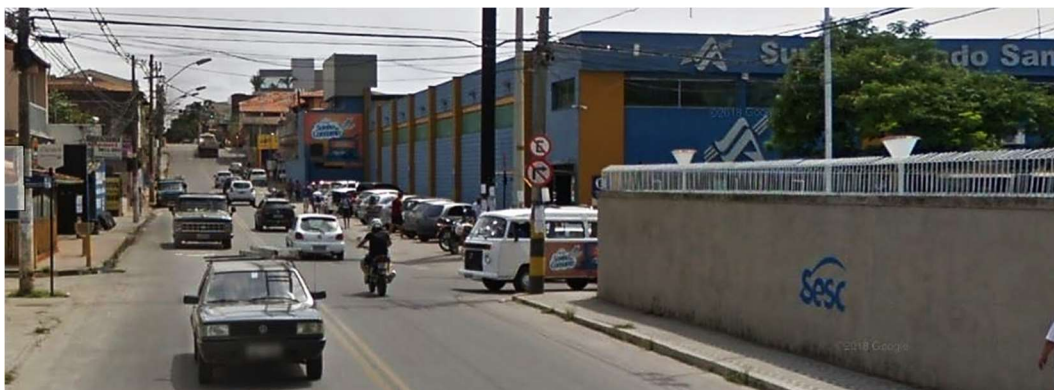


Figura 49: Vista do supermercado Santo Antônio e SESC na Rua Professor Abeylard. Fonte: Google Street View (2017)

A região também apresenta uma alta concentração de poços artesianos de alta vazão específica, garantindo seu abastecimento contínuo de água.

O único fator que poderia tornar o potencial de ocupação menos favorável nesses bairros, considerando as variáveis usadas na análise, é a densidade construtiva. A região é bastante antiga e adensada. O uso predominante é o residencial unifamiliar, onde as casas, no geral, apresentam altas taxas de ocupação (Figura 50). Já na Rua Professor Abeylard, os usos predominantes são edificações mistas com comércios no térreo e residências em cima ou comércios de um pavimento com altas taxas de ocupação (Figura 51).



Figura 50: Imagem da Rua Vista Alegre, interna ao bairro Nossa Senhora das Graças, com predominância de tipologias residenciais. Fonte: Google Street View (2014)



Figura 51: Cruzamento ruas Professor Abeylard e Pedro Maciel. Fonte: Google Street View (2017)

A variável densidade construtiva, isoladamente, não foi capaz de influenciar no resultado do potencial de ocupação para a região, até porque, em condições favoráveis ao mercado imobiliário, esse fator não é impedimento para alterar a tipologia de uma região inteira.

Outra área que apresentou destaque com alto potencial de ocupação foi a região nordeste, correspondendo à parte dos bairros New York, Bom Jardim, Santa Marcelina, Braz Filizola, São Pedro e São João. Eles possuem como tipologia predominante o uso residencial unifamiliar com densidade construtiva mais baixa quando comparados aos bairros a oeste e noroeste.

A região foi classificada como de alta e média alta capilaridade e acessibilidade do sistema viário proporcionadas pela conexão entre as seguintes vias: Av. José Sérvulo Soalheiro, Rua Santa Juliana e Rua Guimarães Rosa. A Av. José Sérvulo Soalheiro possui aproximadamente 18 metros de largura, correspondendo à faixa de rolamento, um canteiro central e pista de acostamento para cada sentido. Ela é ocupada predominantemente por residências com a existência de algumas lojas e padarias no trecho mapeado. A maior concentração de comércios da via está fora da área mapeada (Figura 52).



Figura 52: Trecho Av. José Sérvulo Soalheiro. Fonte: Google Street View (2014)

A Rua Santa Juliana é quase que exclusivamente composta por comércios e serviços com taxas construtivas elevadas, sendo o tráfego na via bastante intenso em horários de pico (Figura 53). A Av. José Sêrvulo Soalheiro possibilita o acesso a inúmeros bairros localizados ao norte de Sete Lagoas, enquanto que a Rua Santa Juliana possibilita o acesso à porção nordeste da cidade. Já a Rua Guimarães Rosa faz a ligação entre os três grandes eixos viários: Av. Múcio José Reis, Av. José Sêrvulo Soalheiro e Rua Santa Juliana (Figura 54).



Figura 53: Trecho Rua Santa Juliana. Fonte: Google Street View (2014)



Figura 54: Eixos viários importantes. Fonte: Google Earth (2018)

A região foi classificada como de média à média alta concentração de transporte público em virtude das linhas de ônibus que circulam na Av. José Sêrvulo Soalheiro e Rua Santa Juliana,

sendo um dos fatores que contribuíram para deixá-la com altos índices de potencial de ocupação.

A região também possui um poço artesiano de vazão específica mais elevada e os demais com vazões intermediárias à baixas, indicando que a disponibilidade de água não consiste em um ponto forte da área.

Foram identificadas manchas classificadas como de alto potencial de ocupação na área central do mapa onde está localizado o bairro Boa Vista, acima da lagoa de mesmo nome. Esta área corresponde à Av. Coronel Randolpho Simões, eixo de destaque em Sete Lagoas por interligar o centro à Av. José Sérvulo Soalheiro e à Rua Santa Juliana. Existem linhas de ônibus que circulam na referida avenida, sendo esta, ocupada principalmente por comércios e serviços com alta densidade construtiva. (Figura 55). Todos esses aspectos fazem com o fluxo na via seja extremamente intenso.



Figura 55: Cruzamento entre a Av. Randolpho Simões e Rua Santa Catarina. Fonte: Google Street View (2017)

As vazões específicas dos poços artesanais nessa região seguem as mesmas características da porção nordeste, tendo maior disponibilidade de água em alguns pontos, e em outros, nem tanto. Um aspecto novo que aparece nessa área é a existência de alguns bens imóveis de valor cultural considerados limitadores ao potencial de ocupação (Figura 56).



Figura 56: Bem imóvel cultural da região, Paróquia Santana e São Joaquim. Fonte: Google Street View (2014)

A região sudeste da área mapeada também apresenta trechos com alto potencial de ocupação. Ela compreende os bairros de Fátima, Boa Vista e Vila Brasil. São bairros exclusivamente residenciais não muito adensados, com a presença de comércios e serviços concentrados em algumas vias de maior destaque, tais como: Rua João do Vale, Rua Santana, Rua Santa Catarina e Rua Goiás (Figura 57). Prevalece nessas vias a tipologia residencial, com a existência de alguns comércios e serviços. As ruas João do Vale e Santa Catarina possuem circulação de transporte público, que também passam por outras vias locais dos bairros.

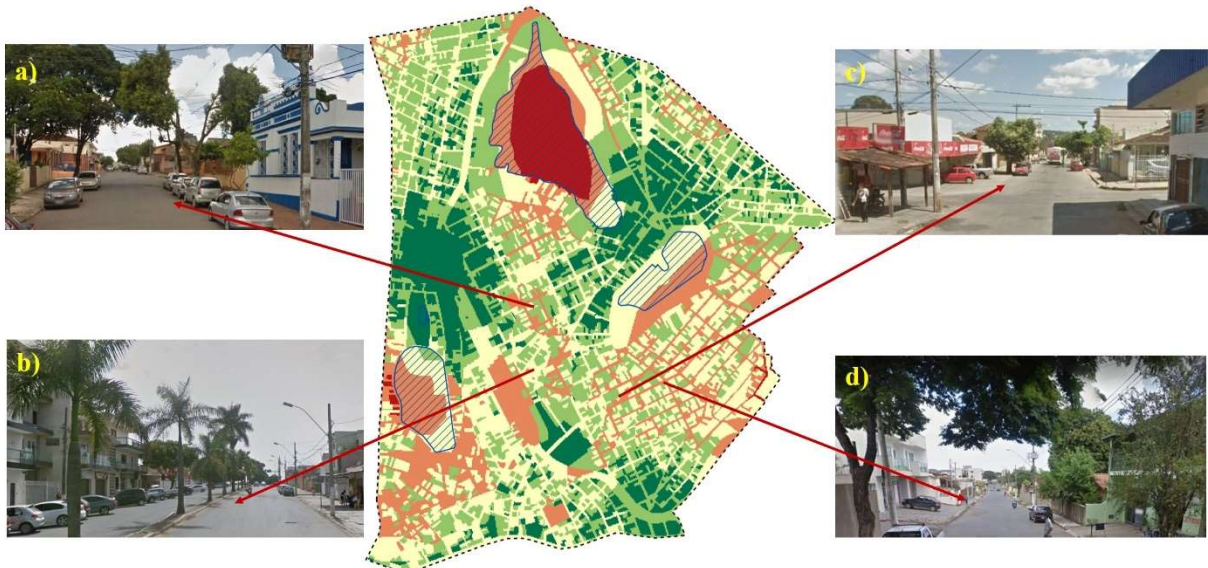


Figura 57: Trechos das principais ruas da região central do mapa, a) Rua Goiás, b) Rua Santana, c) Rua Santa Catarina e d) Rua João do Vale. Fonte: Google Street View (2014)

Ao sul e sudeste da área mapeada estão o centro e o bairro Chácara do Paiva. Eles possuem alta densidade construtiva, ocupados sobretudo, por comércios e serviços. Possuem

edifícios residenciais e comerciais, hospitais, escolas, restaurantes, prédios públicos e casas residenciais (Figura 58). A área é bastante heterogênea com grande fluxo de veículos e pedestres. Todas as linhas de ônibus convergem para essa região intensificando o tráfego local. Esses bairros apresentam uma capilaridade alta, mas a acessibilidade fica comprometida em função das retenções de trânsito na área.



Figura 58: Tipologias de edificações encontradas no centro da cidade e Bairro Chácara do Paiva, a) Hospital Nossa Senhora das Graças, b) Centro Médico, c) Sede da Prefeitura Municipal de Sete Lagoas, d) Núcleos de lojas na Av. Monsenhor Messias, e) E. E. Prof. Arthur Bernardes, f) Tipologias na orla da Lagoa Paulino. Fonte: Google Street View (2017)

Com relação às áreas de conservação, essas são as regiões que possuem maior concentração de bens imóveis inventariados e tombados, não apenas da área mapeada, mas de

toda a cidade. Os únicos perímetros de tombamento delimitados em lei municipal estão dentro dessa área, sendo eles: perímetro da Praça Dom Carlos Carmelo Mota, perímetro do Museu dos Ferroviários e perímetro da Praça Tiradentes (Figura 59).



Figura 59 – Perímetros de tombamento de Sete Lagoas, a) Praça Dom Carlos Carmelo Mota, b) Museu dos Ferroviários e c) Praça Tiradentes. Fonte: [www.setelagoas.com.br](http://www.setelagoas.com.br) e Luiz Cláudio Alvarenga

Em função dos fatores mencionados, as porções sul e sudeste da área mapeada não apresentaram resultados satisfatórios ao potencial de ocupação, prevalecendo no mapa os níveis médio e médio baixo à ocupação. A região também apresenta uma mancha com baixo potencial de ocupação localizada às margens da Lagoa Paulino, correspondente aos inúmeros imóveis inventariados existentes no local.

Esse mesmo resultado apareceu ao norte do mapa, sendo consequência da existência de uma extensa lagoa natural chamada José Félix, que é margeada principalmente por chácaras (Figura 60). Existem também em seu entorno residências, escolas, clubes, lotes vagos e condomínios residenciais.



Figura 60: Vista da margem esquerda da Lagoa José Félix com acesso à Av. Múcio José Reis. Fonte: Drone Boaventura (2016)

Em sua margem direita foi possível identificar uma área classificada como de médio potencial de ocupação. Já a margem esquerda apresentou resultados mais satisfatórios em virtude da alta capilaridade e acessibilidade proporcionada pela Av. Múcio José Reis e pela existência de transporte coletivo que passa na via. Considerando a variável centralidades urbanas, pode-se de dizer que tanto a margem direita quanto à esquerda da lagoa possuem o mesmo nível de serviços de infraestrutura.

Na porção sul da lagoa prevalecem áreas classificadas como de potencial médio a médio baixo para ocupação devido à ausência de comércios, serviços e transportes públicos. A capilaridade e acessibilidade nessa região é de média à média baixa, em virtude da existência de vias estreitas e algumas sem saída.

Em linhas gerais, a região da Lagoa José Félix como um todo não apresentou alto potencial construtivo, sendo o resultado compatível com a LUOS de Sete Lagoas (PMSL, 2017), que preza em manter essa área com baixa densidade construtiva.

- Mapa de Capacidade de Suporte

Por fim, tem-se o cruzamento dos Mapas de Restrição Ambiental e Potencial de Ocupação, cujo resultado foi o Mapa de Capacidade de Suporte para a área central de Sete Lagoas dividido em sete categorias (Figura 61).

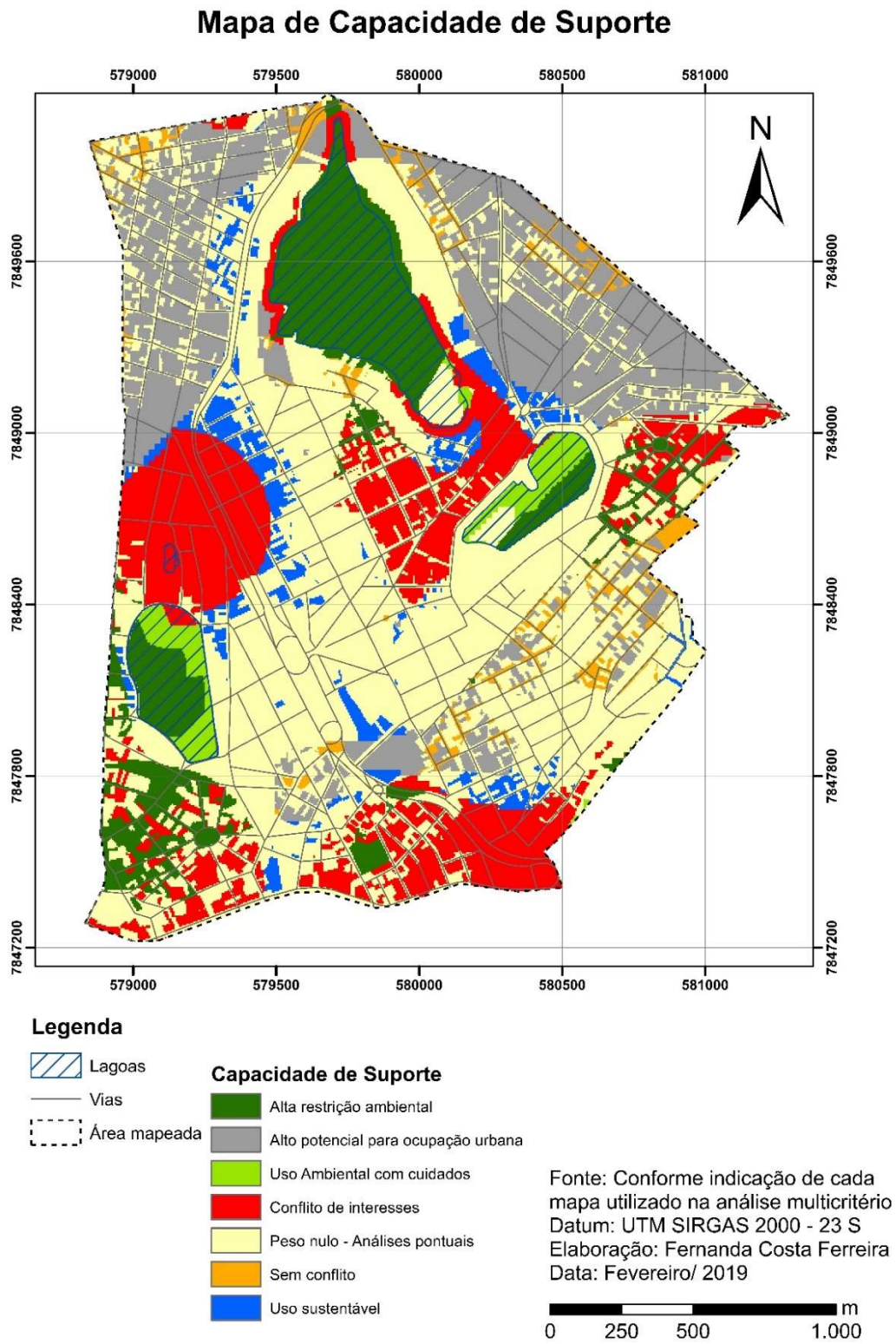


Figura 61: Mapa de capacidade de suporte da área central de Sete Lagoas

As regiões noroeste e nordeste da área mapeada foram as que apresentaram o melhor resultado quanto a capacidade de suporte, sendo identificadas predominantemente com alto potencial para ocupação urbana. A porção noroeste corresponde à parte dos bairros Nossa Senhora das Graças e Papavento (Figura 62). Em geral, os bairros apresentaram condições favoráveis quanto aos recursos de infraestrutura existentes. Avaliando os aspectos ambientais, a área está inserida nos níveis de baixa restrição ambiental à média baixa. Não há indícios de cobertura vegetal relevante, nem áreas de preservação ambiental nesse local. Além disso, os bairros estão fora da região de risco potencial à abatimento.

Na região nordeste estão localizadas partes dos bairros New York, Bom Jardim, Santa Marcelina, Braz Filizola, São Pedro. Essa região apresentou alto potencial para ocupação urbana, considerando a infraestrutura existente e fato de não ser muito adensada (Figura 62). A maior parte de sua área possui baixa restrição ambiental, pois está fora da mancha de alto risco de abatimento e possui baixa recarga de aquíferos. A exceção ao resultado predominante encontrado na região nordeste está no bairro São João, que apresentou uma área significativa de conflito de interesses. Tal situação está relacionada ao fato desse bairro possuir níveis médios à altos quanto a restrição ambiental e por ser uma área potencial para recarga de aquíferos, o que contrapõe com os níveis medianos para ocupação urbana.

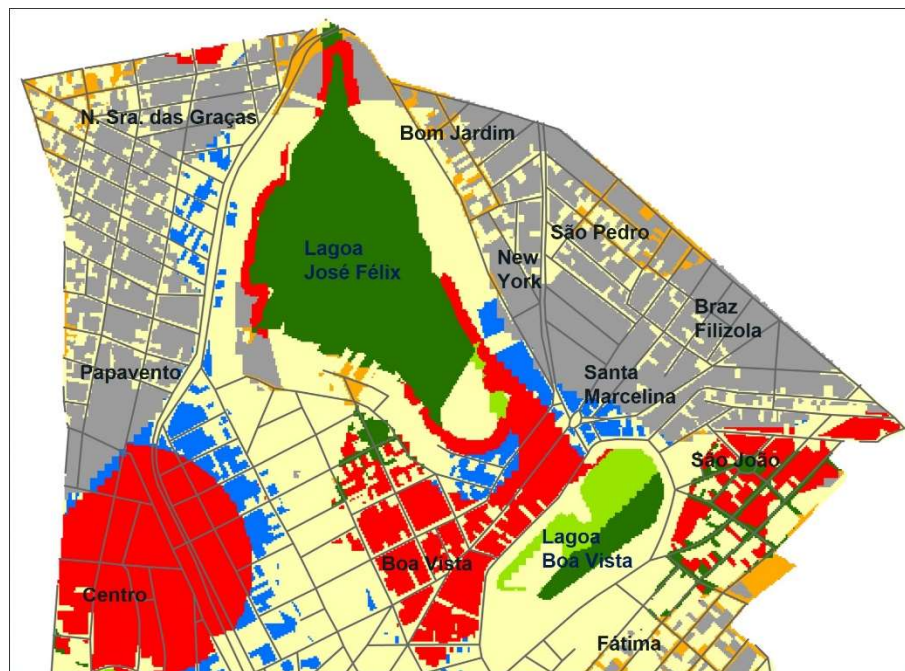


Figura 62: Destaque para as regiões noroeste e nordeste no mapa de capacidade de suporte

As regiões sudeste e sul também apresentaram trechos de alto potencial de ocupação que coincidiram com o resultado médio baixo de restrição ambiental encontrado nas primeiras álgebras. Na região sudeste da área mapeada estão os bairros de Fátima e Vila Brasil, ambos bem próximos ao centro, garantindo excelente infraestrutura à eles (Figura 63).

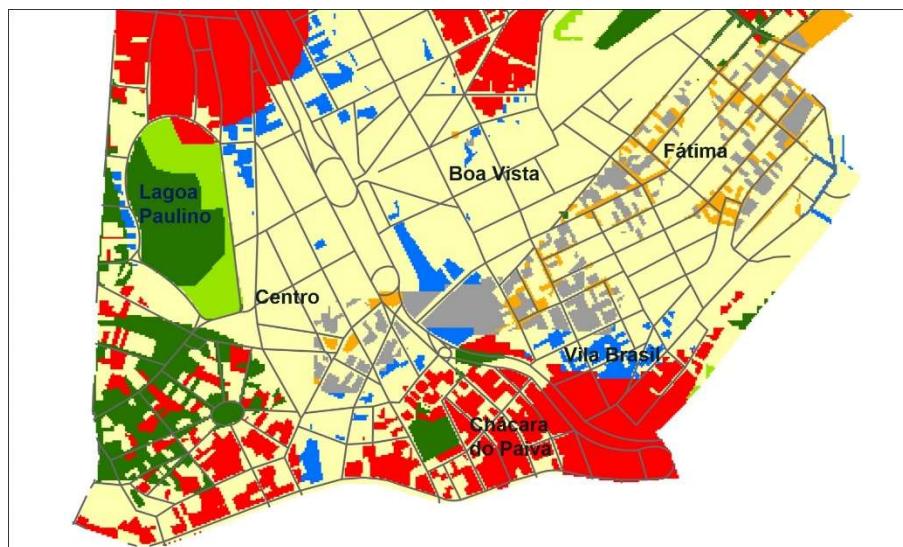


Figura 63: Destaque para as regiões sudeste e sul no mapa de capacidade de suporte

Além disso, apesar dos inúmeros fatores satisfatórios para ocupação urbana, o bairro de Fátima é pouco adensado, pois está localizado ao lado de uma grande siderúrgica, o que provoca uma barreira física à expansão da região (Figura 64).



Figura 64: Siderúrgica próxima ao bairro de Fátima. Fonte: Google Earth (2019)

As manchas de alto potencial à ocupação na porção sul consistem em grandes terrenos públicos localizados no centro da cidade em áreas de excelente infraestrutura. Alguns deles pertencem à antiga rede ferroviária, estando desocupados ou parcialmente edificados. O uso sustentável também apareceu na área onde estão esses terrenos (Figura 65).



Figura 65: Contexto de localização dos terrenos públicos desocupados ou pouco edificados existentes no centro de Sete Lagoas. Fonte: Google Earth (2019)

A região central do mapa e a porção leste, correspondentes ao bairro Boa Vista, apresentaram extensa área de conflito e valores nulos quanto à capacidade de suporte,

necessitando de análises pontuais (Figura 66). A área de conflito detectada é resultado da inserção parcial do bairro em áreas de alto risco à abatimento com médio potencial para recarga de aquíferos. Além disso, a região não apresentou os melhores resultados quanto ao potencial de ocupação visto que não existem muitos comércios ou serviços dentro bairro. Em relação à concentração de transporte público, existem linhas que circulam no Boa Vista, mas que não cobrem completamente as ruas do bairro, forçando os moradores a deslocamentos maiores do que o habitual para utilizar os serviços de transporte.

A grande extensão territorial do Boa Vista e a predominância de vias locais no bairro podem ser as causas do resultado da média capilaridade e acessibilidade viária. Em geral, as vias locais são largas e possuem boa fluidez, garantindo na prática, acessibilidade satisfatória à região. Nos trechos próximos às avenidas, o bairro aparece com a capacidade de suporte melhor do que nas demais áreas.

O sul e sudoeste apareceram predominantemente inseridos em uma zona de conflito de interesses (Figura 66). Apesar da ausência de áreas de proteção permanente e de cobertura vegetal relevante nas regiões, elas estão dentro da área de alto risco de abatimento e com médio potencial para a recarga dos aquíferos.

Essas regiões abrangem o centro de Sete lagoas e o bairro Chácara do Paiva. Eles apareceram na categoria de médio potencial de ocupação, mesmo apresentando os melhores resultados para concentração de transportes públicos e de centralidades urbanas. A área apresenta inúmeros imóveis inventariados pelo patrimônio. Os bairros encontram-se bastante adensados, razão essa que, aliada à grande concentração das atividades da região, tem causado baixa acessibilidade no sistema viário local (Figura 66).

Ainda no centro, acima da Lagoa Paulino, foi identificada uma outra área de conflito de interesses por se tratar de um local com médio alto risco de abatimentos, além de estar inserido dentro de um perímetro de patrimônio cultural, contrapondo à excelente infraestrutura existente que torna a área atrativa à ocupação (Figura 66).

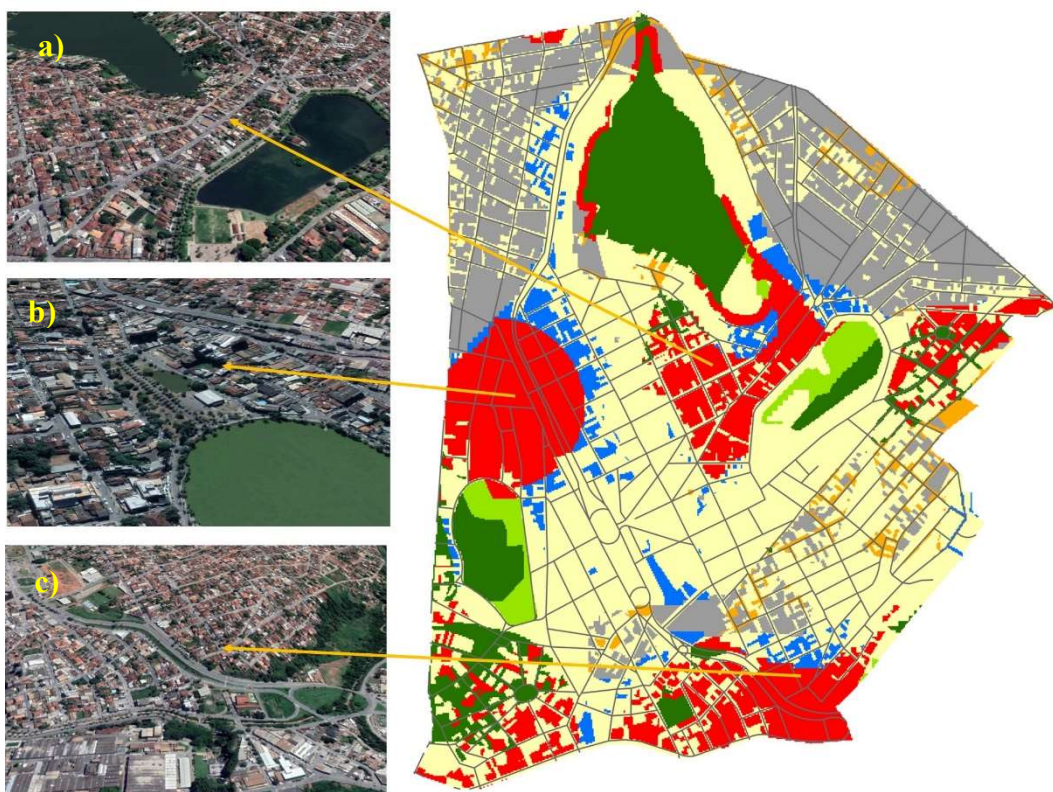


Figura 66: Regiões de conflito de interesses na área de estudo mapeada, a) Bairro Boa Vista, b) Entorno Lagoa Mucuri, acima da Lagoa Paulino e c) Trechos do Centro e Bairro Chácara do Paiva. Fonte: Google Earth (2019)

As áreas correspondentes das lagoas apareceram predominantemente com alta restrição ambiental e uso ambiental com cuidados. Em geral, as orlas das lagoas apresentaram peso nulo no entorno, exigindo análises pontuais no processo de ocupação. Porém, a Lagoa José Félix apresentou uma extensa área de conflito de interesses de ocupação em sua orla, pois o perfil de chacreamento da lagoa não condiz com a potencial de ocupação na área, proveniente da excelente infraestrutura existente em suas proximidades.

As APP's das lagoas Paulino e Boa Vista não foram representadas no Mapa de Áreas de Proteção Permanente (Figura 17), pois elas são completamente urbanizadas contendo calçadas, vias e áreas de lazer no entorno (Figura 67). Para garantir maior alcance visual dessas lagoas e de outras existentes na área urbana, mas que não apareceram no Mapa de Capacidade de Suporte, a prefeitura exige um afastamento de 5 metros na testada das edificações que sejam voltadas para as orlas.



Figura 67: Lagoas na região central de Sete Lagoas, a) Lagoa Paulino, bairro Centro e b) Lagoa Boa Vista, bairro Boa Vista. Fonte: Luiz Carlos Alvarenga (2017)

- Capacidade de Suporte no contexto da Lei de Uso e Ocupação do Solo

Levando para o contexto dos zoneamentos definidos na LUOS de Sete Lagoas (PMSL, 2017), tem-se sete zonas dentro da área de estudo, sendo elas: Zona de Uso Preferencialmente Residencial 2 (ZUR 2), Zona do Centro Comercial (ZC), Zonas das Ambiências do Patrimônio Cultural (ZAPC), Zonas das Ambiências dos Monumentos Paisagísticos Naturais (ZAMP), Zona de Atividades Econômicas 1 (ZAE 1), Zona de Atividades Econômicas 2 (ZAE 2) e Zona de Atividades Econômicas 3 (ZAE 3) (Figura 69).

A Zona Especial de Projeto 5 (ZEP 5), consiste em uma área delimitada no entorno das lagoas para realização de projetos urbanísticos, sanitários e paisagísticos posteriores. Até que se estabeleçam normas para elas, essas áreas não possuem parâmetros para edificação.

A ZUR 2, representada em roxo no mapa da lei, compreende os seguintes bairros na área mapeada: Nossa Senhora das Graças, Papavento, New York, São Pedro, Braz Filizola, São João, parte do Boa Vista, Fátima e Vila Brasil. Esse zoneamento possibilita os usos residenciais horizontais e verticais; misto; comércio e serviços de pequeno porte e uso institucional de pequeno porte.

O coeficiente permitido para a região é de 1,2 para tipologias horizontais e 1,5 para tipologias verticais, o que significa que em um lote de 360 m<sup>2</sup> pode-se construir:

$$AC = 1,2 \times 360 \text{ m}^2 = 432\text{m}^2 \text{ (para usos horizontais) ou,}$$

$$AC = 1,5 * 360 \text{ m}^2 = 540\text{m}^2 \text{ (para tipologias verticais)}$$

De forma ilustrativa, o exemplo abaixo mostra as diferentes formas de aplicação do coeficiente de aproveitamento em um terreno com a mesma metragem. O primeiro e terceiro diagrama possuem o mesmo coeficiente de aproveitamento que é 1,0, permitindo edificar o

valor de metragem correspondente à área do lote. Porém, a construção foi distribuída de formas diferentes nos dois exemplos, sendo que primeiro ocupou integralmente o terreno e a terceiro foi dividida em 4 pavimentos com 1/4 da metragem do outro primeiro (Figura 68).

Já o segundo exemplo, apresenta um coeficiente 4 vezes maior do que os outros dois, possibilitando a construção de 4 pavimentos com a mesma metragem do primeiro exemplo.

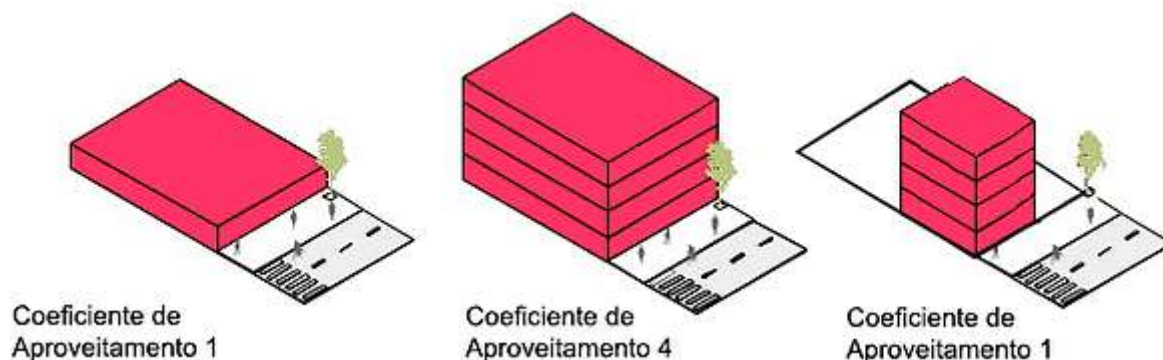


Figura 68: Aplicação do coeficiente de aproveitamento. Fonte: <https://www.slideshare.net/CampinasQueQueremos/1-luos-coeficiente-de-aproveitamento> (2015)

A ZC, que está em amarelo no mapa, permite os seguintes usos: residenciais horizontais e verticais; misto vertical; comércios e serviços de médio e grande porte e uso institucional de pequeno e médio porte. Além do centro, essa zona engloba os bairros Boa Vista e Chácara do Paiva. O coeficiente de aproveitamento permitido para as tipologias horizontais deste zoneamento é de 1,2 e de 2,5 para as verticais. Pegando como mesmo exemplo um lote de 360 m<sup>2</sup>, no caso de tipologias verticais, corresponderia a um edifício de 900 m<sup>2</sup> (Tabela 36).

Como sobreposição de zoneamento, tem-se na área mapeada as ZAPC's e as ZAMP's, que correspondem às áreas mais restritivas, sendo a primeira de proteção ao patrimônio cultural e a segunda, de proteção às lagoas. Ambas possuem um coeficiente de aproveitamento igual a 1,0 e algumas limitações de usos e de parâmetros urbanísticos (Figura 69) (Tabela 36).

As ZAE's, que são zonas de atividades econômicas que coincidem com os grandes eixos viários de Sete Lagoas. As ZAE's 1 são lindeiras às vias coletoras secundárias, as ZAE's 2 são lindeiras às vias coletoras primárias e as ZAE's 3, lindeiras às vias arteriais. Todas as três ZAE's possuem o coeficiente de 1,5 para usos residenciais, tanto horizontais quanto verticais. Elas diferem em relação aos coeficientes para os demais usos em caso de lotes lembrados sendo: 2,5 para a ZAE 1; 3,0 para a ZAE 2 e 3,5 para a ZAE 3 (Tabela 36).

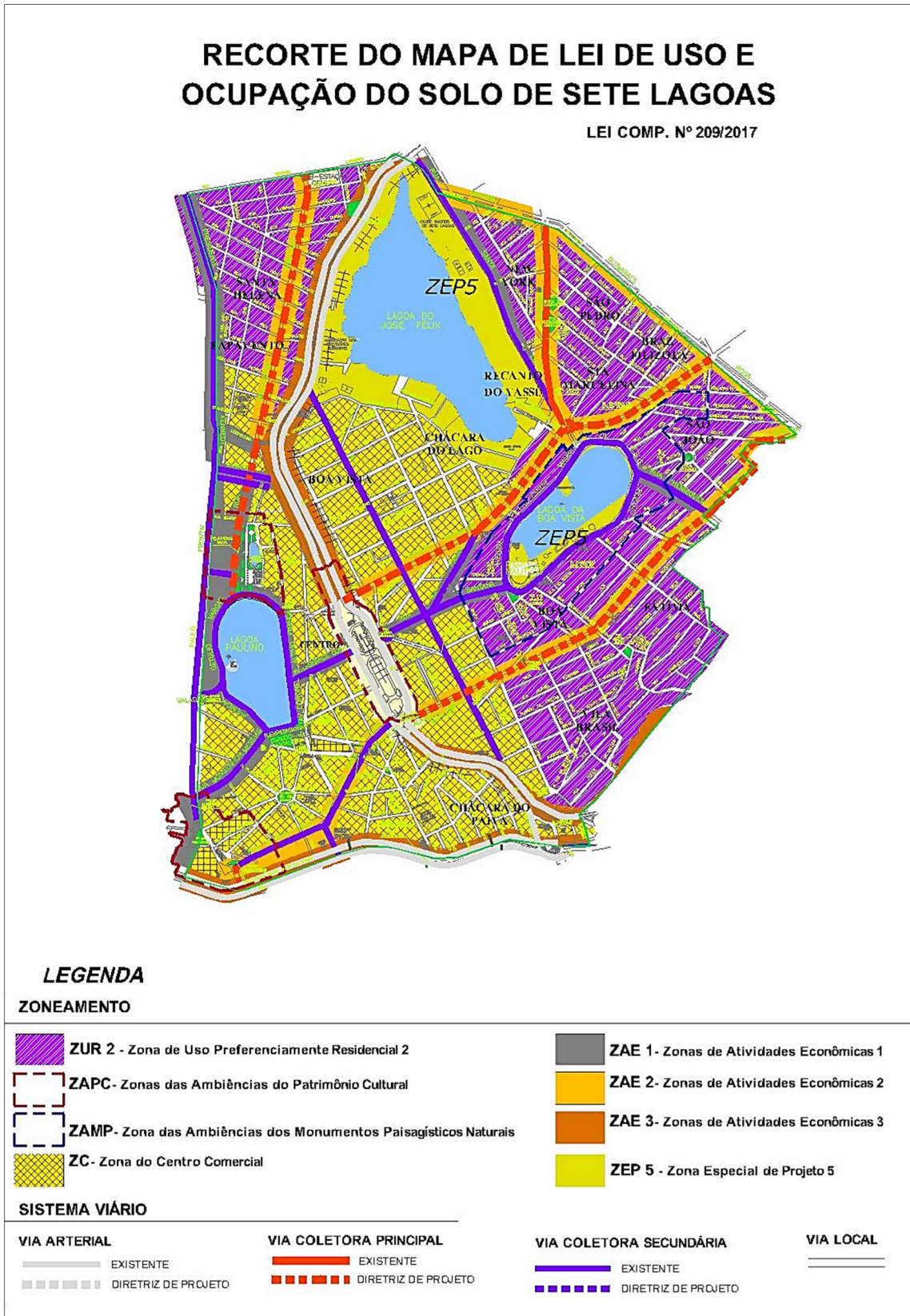


Figura 69: Representação do zoneamento na área de estudo. Fonte: Lei Complementar nº 209/2017

Tabela 36: Síntese do potencial construtivo de cada zoneamento. Fonte PMSL, 2017

<b>Potencial Construtivo - Área de Estudo</b>						
<b>Zoneamento</b>	<b>Lotes não lembrados – 360m<sup>2</sup></b>			<b>Lotes lembrados – 720m<sup>2</sup></b>		
	<b>Usos</b>	<b>Coef. Ap.</b>	<b>Área Constr.</b>	<b>Usos</b>	<b>Coef. Ap.</b>	<b>Área Constr.</b>
<b>ZUR-2</b>	Edificações horizontais (residencial, comercial, serviços e institucional)	1,2	432	Uso institucional	1,2	864
	Edifícios verticais residenciais e comerciais	1,5	540			
<b>ZAPC</b>	Edificações horizontais (residencial, comercial, serviços e institucional)	1,0	360	Comercial e serviços de apoio ao turismo e uso institucional	1,2	864
	Edifícios verticais residenciais e comerciais	1,0	360			
<b>ZAMP</b>	Edificações horizontais (residencial, comercial, serviços e institucional)	1,0	360	Comercial e serviços de apoio ao turismo e uso institucional	1,2	864
	Edifícios verticais residenciais e comerciais	1,0	360			
<b>ZC</b>	Edificações horizontais (residencial, comercial, serviços)	1,2	432	Comercial e serviços e edifício vertical de uso misto	3	2160
	Edifícios verticais residenciais, comerciais e uso institucional	2,5	900			
<b>ZAE 1</b>	Edificações horizontais (residencial, comercial, serviços)	1,2	432	Edificações horizontais (comercial, serviços e institucional) e edifícios verticais	2,50	1800
	Edifícios verticais residenciais, comerciais e uso institucional	1,5	540			
<b>ZAE 2</b>	Edificações horizontais (residencial, comercial, serviços)	1,2	432	Edificações horizontais (comercial, serviços e institucional) e edifícios verticais	3,00	2160
	Edifícios verticais residenciais, comerciais e uso institucional	1,5	540			
<b>ZAE 3</b>	Comércio, serviços e industrial	1,2	432	Edificações horizontais (comercial, serviços e institucional) e edifícios verticais	3,50	2520
	Edifícios verticais residenciais, comerciais e uso institucional	1,5	540			

Os zoneamentos existentes na área mapeada foram sobrepostos ao mapa de capacidade de suporte com intuito de facilitar a identificação das áreas em desconformidade com a legislação municipal e as que apresentaram coeficiente de aproveitamento compatível com o resultado da análise (Figura 70).

As duas áreas que apresentaram a maior capacidade de suporte na área mapeada foram as regiões noroeste e nordeste, que estão inseridas na ZUR 2. A porção sudeste, que apresentou alguns pontos com resultados satisfatórios quanto à capacidade suporte, também está parcialmente inserida na ZUR 2.

Os índices de capacidade de suporte mais baixos estão nas regiões das lagoas, além da porção sudoeste do mapa. A ZC abrange grande parte dessas áreas, exceto as lagoas que estão inseridas nas ZAMP's e os perímetros de tombamento que correspondem às ZAPC's.

Com capacidade intermediária para suporte, destaca-se a área central do mapa correspondente ao bairro Boa Vista com zoneamentos ZC e ZUR 2. Já as ZAE's que cortam os bairros ao longo dos eixos viários alternam quanto à capacidade de suporte em função da região em que se encontram.

### Mapa de Capacidade de Suporte Sobreposto ao Zoneamentos da LUOS

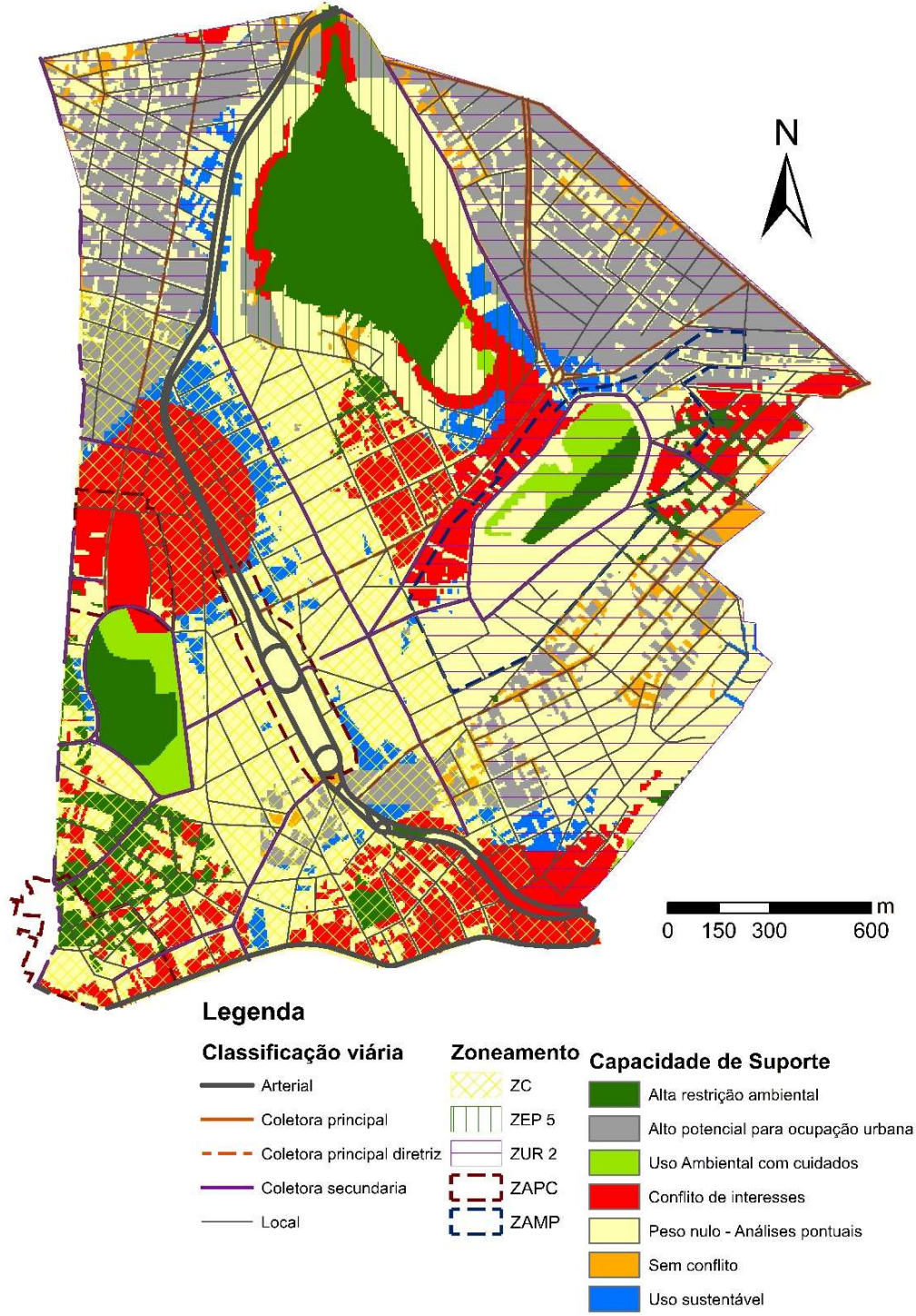


Figura 70: Sobreposição do zoneamento na área existente ao mapa de capacidade de suporte

Fazendo um comparativo entre a capacidade de suporte e o coeficiente de aproveitamento estabelecido em cada zoneamento, pode-se detectar três tipos de situações encontradas na área de estudo: locais a LUOS foi compatível com a capacidade de suporte, as áreas com potencial para ter um coeficiente de aproveitamento maior e aquelas em que o coeficiente excedeu à capacidade de suporte (Figura 71).

No caso das regiões noroeste e nordeste do mapa, onde a capacidade apresentou níveis elevados, é recomendável estabelecer parâmetros urbanísticos mais permissivos nessas áreas, de modo a garantir um melhor aproveitamento do seu potencial de ocupação. O mesmo ocorre com a região leste e sudeste, correspondente aos bairros de Fátima e parte do Vila Brasil.

Outra incompatibilidade observada encontra-se nas áreas em vermelho que aparecem na ZC e o resultado quanto à capacidade de suporte foram conflito de interesse e área de restrição ambiental. O coeficiente de aproveitamento estabelecido para a Zona Central é de 2,5, podendo ainda ser acrescido em caso de sobreposição de ZAE's ou por TDC. Os parâmetros urbanísticos desse zoneamento deveriam ser reavaliado com cautela pelo poder público municipal com intuito de evitar uma sobrecarga provocada pela divergência entre o adensamento construtivo, a infraestrutura existente e os recursos naturais disponíveis na região.

Já nas situações onde estão localizados os perímetros de tombamento da Praça do Dom Carlos Carmelo Mota e Praça Tiradentes, percebe-se a coerência ao estabelecer coeficientes de aproveitamento iguais a 1,0. O mesmo raciocínio pode ser considerado para as áreas de entorno das lagoas que apresentaram resultados mais baixos quanto à capacidade de suporte e também possuem coeficiente de aproveitamento igual a 1,0.

O perímetro de tombamento encontrado na porção central do mapa correspondente às áreas de patrimônio cultural no entorno do Museu dos Ferroviários, apresentou um coeficiente de aproveitamento abaixo do seu potencial construtivo. Levando em conta a relevância patrimonial da área, não seria viável considerar a possibilidade de acréscimo construtivo porque isso poderia impactar na preservação dos bens culturais imóveis da região.

Em geral, a porção central do mapa não apresentou inconformidades na análise pois, apontou principalmente, peso neutro para a capacidade de suporte estando sujeita à análises pontuais.

No caso das ZAE's, elas cortam tanto regiões classificadas como de alta capacidade de suporte, quanto regiões com baixa capacidade de suporte. Para uma região de baixa capacidade de suporte, a aplicação de um coeficiente de aproveitamento igual a 3,5, em se tratando de uma ZAE 3, é completamente incoerente. Soma-se a isso, o fato dessas zonas serem passíveis de

receber aumento do coeficiente de aproveitamento por meio dos instrumentos do Estatuto da Cidade (BRASIL/2001), previstos na LUOS de Sete Lagoas (PMSL, 2017). Esses instrumentos ainda não têm sido aplicados no município por necessidade prévia de regulamentação do estoque de potencial construtivo.

Diante dessas situações, a melhor solução seria proibir a aplicação dos parâmetros urbanísticos das ZAE's nas regiões que apresentem baixa capacidade de suporte.

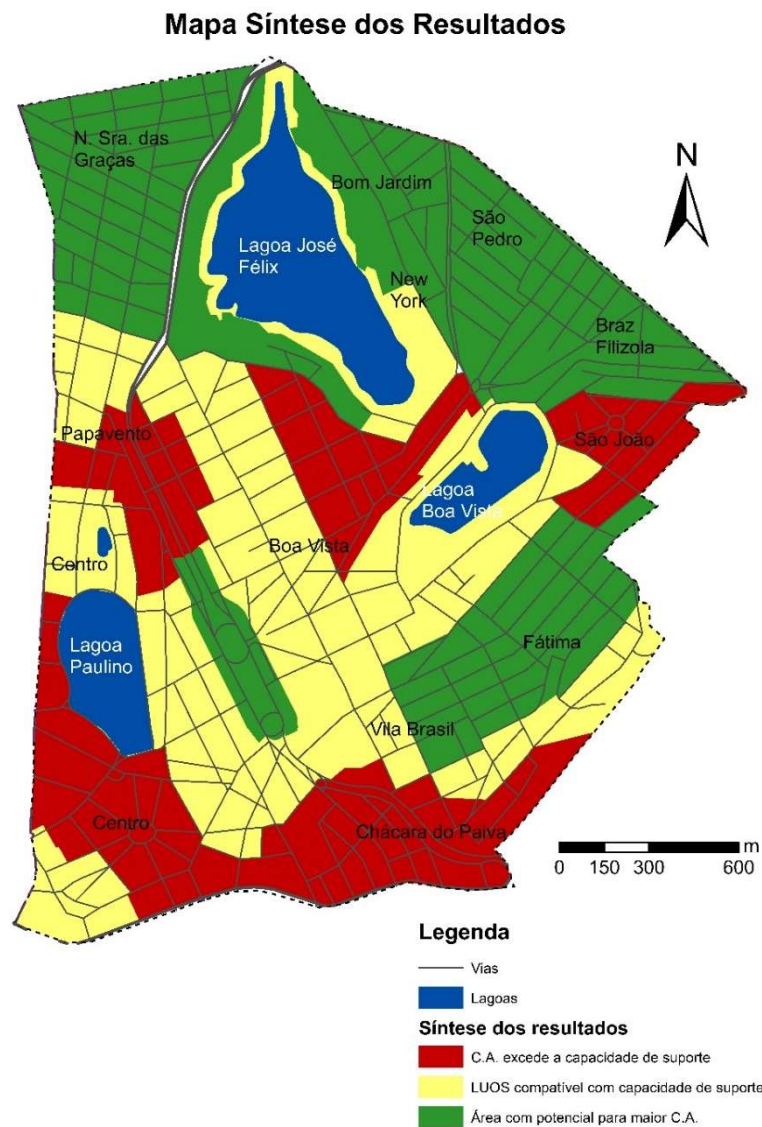


Figura 71: Síntese dos resultados por meio de comparação entre capacidade de suporte e LUOS: identificação das áreas com sobrecarga construtiva, as que estão em conformidade com lei municipal e as que poderiam ser melhor aproveitadas.

## 6. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a aplicação de técnicas de geoprocessamento na manipulação de dados e o uso de análises multicritérios para avaliar a capacidade de suporte em um trecho da cidade de Sete Lagoas, inserida em região cárstica. Os métodos utilizados nesta pesquisa podem ser empregados em municípios que apresentem o mesmo contexto geológico ou em outros casos genéricos, por meio de adaptação na metodologia.

Os resultados obtidos neste trabalho são produtos da análise de referencial bibliográfico associado a um processo experimental bastante comum no planejamento urbano, que se fundamenta em observações do espaço e na opinião de especialistas da área.

Embora o dinamismo urbano seja um grande desafio na gestão das cidades é possível anteceder os seus efeitos negativos. Os estudos urbanos são iniciativas importantes nesse empenho de conter os impactos sobre as cidades, pois em geral, permitem identificar as inconformidades na gestão do espaço e assim, prever por meio de cenários futuros, as possíveis consequências que poderão acontecer.

As legislações urbanísticas são eficientes ferramentas na gestão municipal, pois possibilitam o ajuste nos parâmetros de ocupação de forma a assegurar o ordenamento territorial das cidades.

De modo geral, considera-se que os resultados obtidos foram satisfatórios porque apesar da aplicação em uma escala reduzida, foi possível detectar as inconformidades urbanas existentes na área estudada. Todos os mapas gerados nas álgebras foram confrontados com a realidade espacial nos dias atuais por meio de fotos tiradas em visitas de campo ou imagens do Google. Constatou-se que o método é eficiente para este tipo de análise pois apresentou compatibilidade com as condições reais observadas no local.

O cruzamento dos dados trabalhados permitiu mapear diferentes níveis de capacidade de suporte sobre o tecido urbano na área central de Sete Lagoas e com isso identificar as áreas de sobrecarga construtiva e as áreas subutilizadas. Além disso, foi possível perceber os pontos em que a capacidade de suporte encontrada foi compatível com os parâmetros urbanísticos da LUOS de Sete Lagoas. Notou-se que, uma parte significativa da área estudada apresenta incompatibilidade entre os resultados e com possíveis cenários futuros estimulados pela própria lei municipal.

O principal problema detectado ao longo do trabalho foi o fato de que os maiores índices de densidade construtiva encontrados na área mapeada, correspondentes ao centro e ao bairro

Chácara do Paiva, coincidiram com parte da região de alto risco de abatimento e de potencial médio a alto para recarga de aquíferos. Soma-se a isso, o fato de que os coeficientes de aproveitamento de parte dessa área, excedem a sua capacidade de suporte considerando as restrições ambientais encontradas.

Além disso, com a exigência de incorporação dos instrumentos urbanísticos do Estatuto da Cidade na lei municipal, que possibilitam o adicional construtivo às regiões em condições de receber maior adensamento, intensifica a preocupação com relação à futura sobrecarga no território, sendo portanto, necessária a investigação da capacidade de suporte da cidade para mapear os estoques de potenciais construtivos adicionais, ainda não estabelecidos pelo poder público municipal.

Há de se destacar que, a principal limitação da metodologia empregada neste trabalho foi a elaboração da variável de densidade construtiva até então inexistente. A sua construção disponha de mais tempo ou da realização de um trabalho em equipe, o que não foi possível em virtude da inexistência de financiamento para esta pesquisa.

Dada a impossibilidade de se mapear a densidade construtiva para toda a cidade, foi preciso reduzir a área de estudo a um recorte da área central de Sete Lagoas e alguns bairros limítrofes. Em condições favoráveis, o ideal seria aplicar a metodologia para toda a cidade, uma vez que o espaço urbano deve ser pensado integralmente.

Um grande benefício concedido pelo uso dessa metodologia, caso fosse aplicada em toda área de Sete Lagoas, seria fornecer subsídios e maior segurança na fundamentação nos futuros ajustes dos parâmetros urbanísticos da LUOS de Sete Lagoas. Para isso, sugere-se ao poder público municipal, a criação de um projeto dentro da prefeitura, que possa concluir o resultado desta pesquisa ou seu possível prosseguimento para um futuro trabalho de doutorado.

Dessa forma, acredita-se que mais importante que os resultados alcançados, foi a prática da metodologia desenvolvida que apresenta o caminho para a aplicação deste estudo em toda a cidade de Sete Lagoas. Espera-se, também, que o material elaborado possa servir como ferramenta de apoio na gestão urbana de outros municípios e na construção de trabalhos nas áreas de planejamento urbano e ambiental, proporcionando a melhoria na qualidade de vida das cidades por meio do desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Educação. Disponível em: <http://www.abas.org/educacao.php>. Acesso feito em 19/12/2018.

ALVES, R. e PINHEIRO, J. **Lagoa Santa Todas as Cores**. Projeto Expedição Viajantes Naturalistas – Instituto Pró-Endêmicas, Minas Gerais, 600 p., 2014.

ASF's – Alaska Satellite Facility's Data Portal. Imagem Satélite Alos Palsar, resolução 12,5 metros. Data da imagem: julho de 2018. Disponível em: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>. Acesso feito em julho de 2018.

BARROS, L. C.; DUTRA, L. V.; MACEDO, D. R. **Utilização de imagens espectrais de média resolução espacial na análise da expansão urbana do município de Betim (RMBH) por meio de modelo de mistura**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Florianópolis - SC, 21-26 de abril de 2007.

BERBERT-BORN, M. 2002. Carste de Lagoa Santa, MG: berço da paleontologia e da espeleologia brasileira, p. 415-430. In: C. SCHOBENHAUS; D.A. CAMPOS; E.T. QUEIROZ; M. WINGE & M. BERBERT-BORN (Eds). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Serviço Geológico do Brasil (CPRM)

BOTELHO, L. A. **Gestão dos recursos hídricos em Sete Lagoas/MG: uma abordagem a partir da evolução espaço-temporal da demanda e da captação de água**. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

BRASIL. **Lei Federal 6.766/1979**, 19 de dezembro de 1979 – Parcelamento do Solo Urbano

BRASIL. **Lei Federal 9.985/2000**, 18 de julho de 2000 – Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

BRASIL. **Lei Federal 10.257/2001**, de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade.

BRASIL. **Lei Federal 13.465/ 2017**, 11 de julho de 2017.

BRASIL. **Resolução Conama 303/2002**, 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

CARVALHO, G. A. **Análise espacial urbano – sócio – ambiental como subsídio ao planejamento territorial do município de Sabará**. Dissertação (Mestrado Geografia) – UFMG, 2010, p. 133.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas. **Base de dados geoespacializados das cavernas do Brasil**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. Acesso feito em 18/07/2018.

COMISSÃO LAGOA GRANDE, 2015. **Comissão apresenta relatório sobre situação da Lagoa Grande**, 20 Fevereiro 2014. Disponível em:

<http://setelagoas.com.br/noticias/cidade/23915-comissao-apresenta-relatorio-sobre-situacao-da-lagoa-grande>. Acesso em: 10 jan. de 2019.

COMPAC. **Relação de bens tombados e inventariados do município de Sete Lagoas.**

Conselho Municipal do Patrimônio Cultural de Sete Lagoas, Secretaria Municipal de Cultura, Prefeitura Municipal de Sete Lagoas, 16/12/2016.

CVIJIC, J. **La Geographie des Terrains Calcaires.** Académie Serbe des Sciences et des Arts. Belgrado, 212 p. 1960.

ESPINOSA, H. R. M. Desenvolvimento e meio ambiente sob nova ótica. Revista Ambiente. São Paulo, Vol. 7, nº 1, p. 40-44, 1993. In. MACHADO, P. J. O. **Capacidade, Suporte e Sustentabilidade Ambiental.** Geosul, Florianópolis, v. 14, nº 27, p. 122-127, jan./jun. 1999.

FERREIRA, F. C. **Descomissionamento da Cava de Mineração e Requalificação da Paisagem Urbana de Capão Xavier, Jardim Canadá.** Monografia do curso de bacharel em Arquitetura e Urbanismo, UFMG, Belo Horizonte, 2013, pgs. 70.

FILET, M. **Análise de capacidade de suporte ambiental.** In. MACHADO, P. J. O. **Capacidade, Suporte e Sustentabilidade Ambiental.** Geosul, Florianópolis, v. 14, nº 27, p. 122-127, jan./jun. 1999.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst geomorphology and hydrology.** London, Unwin Hyman. 601 p. 1989.

GALVÃO P., HALIHAN T., HIRATA R. **Evaluating karst geotechnical risk in the urbanized area of Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil.** Hydrogeology Journal Official Journal of the International Association of Hydrogeologists. Hydrogeol J DOI 10.1007/s10040-015-1266-x, 23/04/2015.

GALVÃO, P., Hirata, R., Cordeiro, A., Osório, D. B., e Peñaranda, J. **Geologic conceptual model of the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 88 (1), 35-53, 2016.

GIOVANNETTI, G. e LACERDA, M. Dicionário de Geografia. São Paulo: Melhoramentos, 1996.

GRACIA, M. T. L. **Geo-resources and geo-hazards in the context of a sustainable development in the periphery of urban areas, exemplary of a part of the Ebro Basin in the surroundings of Zaragoza (Spain).** Dissertation at the Department 11 Material- and Geosciences of the Darmstadt University of Technology for the acquisition of the Doctor degree in Natural Sciences, Zaragoza – Spain, p. 212, 2007.

GUIMARÃES, V. M. B. **Estudo acerca das possíveis causas para o decréscimo do volume hídrico na Lagoa Grande no município de Sete Lagoas, MG.** Monografia do curso de bacharel em Geografia, Universidade Federal de Viçosa - MG, 52 p., 2015.

HARDT, R.; RODET, J.; FERREIRA PINTO, S. A. **O carste: Produto de uma evolução ou processo? Evolução de um conceito.** Revista de Geografia (Recife), Volume Especial, p.100- 111, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?l>. Acesso em out/2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sete-lagoas/panorama>. Acesso feito em dezembro de 2018.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

JUNK, W. I. **Capacidade suporte de ecossistemas: Amazônia como estudo de caso**. In: MACHADO, P. J. O. **Capacidade, Suporte e Sustentabilidade Ambiental**. Geosul, Florianópolis, v. 14, nº 27, p. 122-127, jan./jun. 1999.

LANDAU E. C.; OLIVEIRA R. P. C.; SANTOS M. A.; GUIMARÃES D. P. **Expansão Urbana da Cidade de Sete Lagoas/MG entre 1949 e 2010**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4011.

LANZA, Jovelino. **História de Sete Lagoas: subsídios**. Sion, Belo Horizonte, 228 p. 1967.

MACHADO, P. J. O. **Capacidade, Suporte e Sustentabilidade Ambiental**. Geosul, Florianópolis, v. 14, nº 27, p. 122-127, jan./jun. 1999.

MAINGUET, M. **Le modelé des grès: Problèmes Généraux**. Paris: Institut Géographique National. 227 p.1972.

MANCINI, F., STECCHI, F., GABBIANELLI, G. **GIS-based assessment of risk due to salt mining activities at Tuzla (Bosnia and Herzegovina)**. Georphology 09 (2009) 170–182, 2009.

MARESCAUX, M. G. **Les Grottes du Gabon nord-oriental: un Karst dans l'oxyde de fer et la silice**. Bulletin de l'Association de Géographes Français. Paris: 410, 606-618, Juillet-Octobre. 1973.

MARTINELLI, G., MORAES, M. A., 2013. **Livro vermelho da flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson - Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios**. In.: Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis, Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 2899-2906. CD-ROM.

O GLOBO SOCIEDADE (2016). Mais de 900 milhões de pessoas vivem em favelas, diz relatório da ONU. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/mais-de-900-milhoes-de-pessoas-vivem-em-favelas-diz-relatorio-da-onu-20313751>. Acesso feito em 11 de fevereiro de 2019.

OLIVEIRA, Luís Marcelo. **Acidentes Geológicos Urbanos**. MINEROPAR - Serviço Geológico do Paraná. ISBN 978-85-60173-02-0. Curitiba, 2010 (1ª Edição), 78 p.

ONU BR - Nações Unidas no Brasil (2018). **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso feito em 11 de fevereiro de 2019.

PAN Faveiro-de-wilson (Orgs, 2014). **Plano de Ação Nacional para a Conservação do Faveiro-de-wilson (Dimorphandra wilsonii Rizzini)**. Andrea Jakobsson Estúdio: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 52 p. Atualizado pela Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte, 2016.

PESSOA, P. F. P. **Caracterização hidrogeológica da região cárstica de Sete Lagoas – MG: Potencialidades e Riscos**. Tese de mestrado, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1996.

PBH – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. IV Conferência Municipal de Política Urbana. Belo Horizonte, setembro de 2015.

PINHEIRO, N. L. Meio ambiente e desenvolvimento sustentável. In TAUKE-TORNISIELO, S. M. (Org.). **Análise Ambiental: estratégias e ações**. São Paulo: T.A Queiroz, 1995, p. 18-21.

PMSL (2013). **Estudo Hidrogeológico realizado pela empresa Servimar**. Prefeitura Municipal de Sete Lagoas, dez. 2013.

PMSL (2014) – **Imagem de Satélite Pléiades com resolução espacial de 50 cm**. Sistema de coordenadas UTM, SIRGAS 2000. Departamento de Geoprocessamento, Prefeitura Municipal de Sete Lagoas. Jun. 2015 a jan. 2014.

PMSL (2017) – **Lei Complementar nº 209/ 2017** – Dispõe sobre a Lei de Uso e Ocupação do Solo no município de Sete Lagoas. Prefeitura Municipal de Sete Lagoas, dezembro de 2017.

PMSL (2017) – **Lei Complementar nº 208/ 2017** – Dispõe sobre o Parcelamento do Solo no município de Sete Lagoas. Prefeitura Municipal de Sete Lagoas, dezembro de 2017.

PMSL (2018) – **Base de dados geoespacializados do trajeto e pontos de parada de transporte público de Sete Lagoas**. Secretaria Municipal de Trânsito, Prefeitura Municipal de Sete Lagoas, novembro de 2018.

PRJ. Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. **Cartilha Instrumentos do Plano Diretor – Lei de Uso e Ocupação do Solo**. Secretaria Municipal de Urbanismo. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/documents/91237/ddbd40f5-fa89-40ff-b7e3-c2a9339f578d>. Acesso feito em 16/12/2018.

RENAULT, P. **Caractères généraux des grottes gréseuses du Sahara méridional**. Actes du I Congrès International de Spéléologie, Paris. p. 275-289: 1953.

ROCHA, Nicole Andrade; MOURA, Ana Clara M.; CASAGRANDE, Pedro. **Análise Combinatória e Pesos de Evidência na produção de Análise de Multicritérios em**

**modelos de avaliação.** GeoSIG (Revista Geografía y Sistemas de Información Geográfica). Luján, Año 10, Número especial, 2018, Sección I: Artículos. pp. 49-74.

ROGERS, Richard. **Cidades para um pequeno Planeta.** Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

SAAE (2013) – **Base de dados geoespacializados de dolinas, sumidouros, poços artesianos, registro de colapsos em Sete Lagoas.** Serviço Autônomo de Água e Esgoto, 2013.

SANTOS, D. J.; RUCHKYS, U.; GOMES, M. **Avaliação multicritério da vulnerabilidade ambiental e natural da identificação de áreas prioritárias para conservação do patrimônio espeleológico.** Campinas, SeTur/SBE. Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas, 7(1/2), 2014.

SANTOS, D. F. M. **Dinâmica do uso e cobertura do solo nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Moraes – MG: Uma análise espacial do crescimento urbano.** Dissertação de Mestrado do Curso de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Instituto de Geociências, UFMG, Belo Horizonte, 2016.

SILVA, A. B. **Abatimento de solo na Cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil.** (*Soil subsidence in the city of Sete Lagoas, Minas Gerais State, Brazil*). Rev Água Subterrânea 2, pg. 57–66, 1988.

STECCHI, F., ANTONELLINI, M., GABBIANELLI, G. **Curvature analysis as a tool for subsidence-related risk zones identification in the city of Tuzla (BiH).** Georphology 107, 316–325, 2009.

SWEETING, M. M. **Karst Landforms.** Londres: Macmillan. 362 p.: 1973.

TULLER, M. P., Ribeiro, J. H., Danderfer, A., 1992. **Mapeamento Geológico da área do Projeto VIDA,** CPRM, Belo Horizonte. Relatório Interno.

TULLER, M. P., Ribeiro, J. H., Signorelli, N., Féboli, W. L., e Pinho, J. M. M., 2010. **Projeto Sete Lagoas - Abaeté, Estado de Minas Gerais (CPRM) Orgs.-** Belo Horizonte: CPRM-BH. 160p. 06 mapas geológicos, escala 1:100.000 (Série Programa Geologia do Brasil) versão impressa e em meio digital, textos e mapas.

VARGAS, Marcelo. **O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema sócio-ambiental.** Revista Ambiente e Sociedade. Ano II, n.5, 1999.

VARGAS, G. P. **Capacidade de suporte para adensamento urbano: proposta de análise multicritério para avaliação.** Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento, Instituto de Geociências, UFMG, Belo Horizonte, MG, 50 p., 2013.

VESTENA, Leandro Redin; KOBAYAMA, Masato; SANTOS, Leonardo J. C. **Considerações Sobre Gestão Ambiental em Áreas Carste.** RA' EGA (UFPR), v. 4, n. 6, p. 81-94, 2002.

WINGE, M. et. al. 2001 - 2019. **Glossário Geológico Ilustrado.** Disponível na Internet em 28 de agosto de 2019, no site <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>.