

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Arquitetura**  
**Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio**  
**Sustentável**

Isadora Carvalho Ferreira Buchala

**INFRAESTRUTURA VERDE COMO INSTRUMENTO ESTRATÉGICO DE**  
**ADAPTAÇÃO E AUMENTO DA RESILIÊNCIA URBANA:**  
**estudo de caso em Belo Horizonte, MG**

Belo Horizonte  
2022

Isadora Carvalho Ferreira Buchala

**INFRAESTRUTURA VERDE COMO INSTRUMENTO ESTRATÉGICO DE  
ADAPTAÇÃO E AUMENTO DA RESILIÊNCIA URBANA:  
estudo de caso em Belo Horizonte, MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Linha de pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientadora: Prof. Dra. Eleonora Sad de Assis

Co-orientador: Prof. Dr. Wellington Lopes Assis

Belo Horizonte  
2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

B918i

Buchala, Isadora Carvalho Ferreira.

Infraestrutura verde como instrumento estratégico de adaptação e aumento da resiliência urbana [recurso eletrônico] : estudo de caso em Belo Horizonte, MG / Isadora Carvalho Ferreira Buchala. - 2022.

1 recurso online (p. 124: il.).

Orientadora: Eleonora Sad de Assis

Coorientador: Wellington Lopes Assis

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Planejamento urbano - Teses. 2. Arborização das cidades - Teses. 3. Sistemas de informação geográfica - Teses. I. Assis, Eleonora Sad de. II. Assis, Wellington Lopes. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. VI. Título.

CDD 711.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**"Infraestrutura verde como instrumento estratégico de adaptação e aumento de resiliência urbana:  
estudo de caso em Belo Horizonte, MG"**

**ISADORA CARVALHO FERREIRA BUCHALA**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **vinte e oito de janeiro de dois mil e vinte e dois** pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Renato Mesquita Pellegrino, Usuário Externo**, em 01/02/2022, às 13:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wellington Lopes Assis, Professor do Magistério Superior**, em 01/02/2022, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Dany Silvio Souza Leite Amaral, Usuário Externo**, em 01/02/2022, às 17:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Dacanal, Usuário Externo**, em 01/02/2022, às 18:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eleonora Sad de Assis, Professora do Magistério Superior**, em 09/02/2022, às 17:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renata Maria Abrantes Baracho Porto, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 04/04/2022, às 11:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 1225780 e o código CRC 233D4077.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio recebido PROAP/CAPES-PACPS-UFMG em parte do período da Pós-graduação. À Prefeitura de Belo Horizonte, WayCarbon, na pessoa de Melina Amoni e ao Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura e Design da UFMG, na pessoa da Prof. Dra. Ana Clara Mourão Moura, agradeço a confiança em ceder os dados necessários ao estudo. À Mateus Santos, que na época era servidor público da Subsecretaria de Planejamento Urbano da Prefeitura de Belo Horizonte pelas orientações. À Júlio De Marco, Ana Maria Caetano e Dany Silvio Amaral, da Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura de Belo Horizonte, obrigada pela parceria e amizade.

À Prof. Dra. Eleonora Sad de Assis por me orientar desde o início e me conduzir com carinho, generosidade, amizade e ciência. Ao Prof. Dr. Wellington Lopes Assis por suas considerações que ajudaram a conduzir esse estudo. À Prof. Ana Clara Mourão Moura pelas orientações e carinho dedicados a mim e a esse estudo. À Prof. Grace Gutierrez pela amizade e parceria e Prof. Dra. Roberta Souza pelo companheirismo. Ao Prof. Dr. Carlos Lobo pelo tempo dedicado a este estudo.

Aos amigos do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído – LABCON da Escola de Arquitetura e Design da UFMG, obrigada por estarmos juntos durante toda essa caminhada. Agradeço em especial Marina da Silva Garcia, grande amiga de trocas de experiência acadêmica, de vida e de fé. Aos amigos do Programa de Extensão COMpasso e do Projeto Escolas Solares, onde pude ter experiências profissionais únicas que contribuíram diretamente para minha maturidade como pesquisadora, o meu muito obrigada! Agradeço aos demais amigos que foram orientandos junto comigo e daqueles que fizeram parte da minha turma de pós-graduação, obrigada pela força e confiança em meu trabalho.

Por fim, agradeço a Deus por me inspirar e proporcionar encontros com pessoas incríveis que fazem a diferença na minha vida. Obrigada ao meu ex-marido, Thiago, pelos momentos de apoio e disposição em estar ao meu lado durante as diversas horas trabalhadas. À minha família por entender minhas ausências. Obrigada mãe, tia e avó (*in memoriam*) pelas mulheres fortes que vocês são, pois com vocês aprendi o que é resiliência desde muito cedo. Obrigada amigas e amigos que entenderam meus momentos de ausência, de cansaço e não deixaram de ser presentes em minha vida. A plena confiança de vocês de que tudo daria certo muitas vezes aumentou a minha própria confiança.

Por que as árvores são seres tão sociáveis? Por que compartilham seus nutrientes com outras da mesma espécie e, com isso, ajudam suas concorrentes? Os motivos são os mesmos que movem as sociedades humanas: trabalhando juntas elas são mais fortes. Uma única árvore não forma uma floresta, não produz um microclima equilibrado; fica exposta, desprotegida contra o vento e as intempéries. Por outro lado, muitas árvores juntas criam um ecossistema que atenua o excesso de calor e de frio, armazena um grande volume de água e aumenta a umidade atmosférica – ambiente no qual as árvores conseguem viver protegidas e durar bastante tempo.

Peter Wohlleben, A vida secreta das árvores.

## RESUMO

Dentre diversas problemáticas presentes nas cidades, a ocorrência de eventos extremos advindos das mudanças climáticas é uma preocupação para a infraestrutura urbana em si e para as populações habitantes. Por isso, se faz necessário compreender as vulnerabilidades envolvidas, sejam elas físicas, ambientais ou climáticas, e a partir daí traçar ações objetivando o aumento da capacidade de resiliência urbana. Atualmente, há um grande número de estratégias e soluções baseadas na natureza para o planejamento urbano com o objetivo de aumentar a resiliência das cidades. Além de uma grande variação na terminologia e nas técnicas ligadas a tais estratégias, não há clareza quanto à aplicabilidade delas, considerando a diversidade geoclimática dos sítios onde as cidades se desenvolvem, ainda mais quando se observa a grande diversidade climática do Brasil. Dentre as estratégias e soluções em pauta na atualidade, o conceito de infraestrutura verde teve destaque neste trabalho, a fim de aumentar a compreensão sobre sua abrangência no urbano planejamento e as formas de sua implementação em escala municipal, principalmente através de estratégias de arborização urbana e interligação de áreas verdes. As definições de infraestrutura verde foram utilizadas a partir da bibliografia existente, especialmente segundo Benedict e McMahon (2009). Com definições mais precisas do conceito, este trabalho buscou desenvolver uma modelagem, aplicando métodos de análise multicritérios em Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a identificação das áreas urbanizadas onde a implantação de infraestrutura verde resultaria nos maiores impactos positivos para o clima local e aumento da resiliência urbana. O município de Belo Horizonte foi tomado como caso de estudo. Foram analisados dados georreferenciados de recursos naturais presentes na malha urbana, características mesoclimáticas, densidade construtiva e de população, além da vulnerabilidade climática presente no município. A partir da modelagem, foram obtidos dois produtos que se complementam. O Produto 1 indica as áreas mais vulneráveis de Belo Horizonte em forma de *ranking* e o Produto 2 espacializa as necessidades de ação em cada localidade. Assim, foi possível identificar áreas aptas e relevantes à implantação de infraestrutura verde em Belo Horizonte, como também analisar e qualificar os desafios existentes. Foi compreendido que o município em geral tem baixa capacidade de resiliência, porém com boas oportunidades de implementação de infraestrutura verde urbana. O desenvolvimento da metodologia aplicada nesse estudo também é compreendido como um resultado. Portanto, como há escassez de estudos com recomendações práticas que norteie planejadores urbanos e tomadores de decisão, é esperado que esse estudo possa embasar novas políticas públicas em Belo Horizonte e em demais cidades, em caso de replicação da metodologia em outras municipalidades.

**Palavras-chave:** infraestrutura verde; arborização urbana; análise multicritérios; sistema de informação geográfica; planejamento urbano.

## ABSTRACT

Among several problems present in cities, the occurrence of extreme events resulting from climate change is a concern for the urban infrastructure itself and for the population of inhabitants. Therefore, it is necessary to understand the vulnerabilities involved, whether physical, environmental, climate, and outline actions aimed at increasing the capacity for urban resilience. Currently, there are a large number of nature-based strategies and solutions for urban planning aimed at increasing the resilience of cities. In addition to a wide variation in terminology and techniques linked to such strategies, there is no clarity as to their applicability, considering the geoclimatic diversity of the sites where cities develop, even more so when observing the great climatic diversity of Brazil. Among the strategies and solutions currently on the agenda, the concept of green infrastructure was highlighted on this research, to increase the understanding of its scope in the urban planning and the ways of its implementation on a municipal scale, mainly through urban afforestation strategies and interconnection of green areas. The definitions of green infrastructure were used from the existing bibliography, especially from Benedict and McMahon (2009). Thus, from more precise definitions of the concept, this research sought to develop modeling, applying multi-criteria analysis methods in Geographic Information System (GIS) to identify urbanized areas where the implementation of green infrastructure would result in the greatest positive impacts for the local climate and increasing urban resilience. The municipality of Belo Horizonte was taken as a case study. Georeferenced data on natural resources present in the urban fabric, mesoclimatic characteristics, building density and people were analyzed, in addition to the climate vulnerability present in the municipality. From the modeling, two products that complement each other were obtained. Product 1 indicates the most vulnerable areas of Belo Horizonte in ranking form and Product 2 spatializes the needs for action in each location. Thus, it was possible to identify suitable and relevant areas for the implementation of green infrastructure in Belo Horizonte, as well as to analyze and qualify the existing challenges. It was understood that the municipality in general has low resilience capacity, but with good opportunities to implement urban green infrastructure. The development of the methodology applied in this study is also understood as a result. Therefore, as there is a shortage of studies with practical recommendations to guide urban planners and decision makers, it is expected that this study can support new public policies in Belo Horizonte and other cities if this methodology is replicated in other municipalities.

**Keywords:** green infrastructure; urban afforestation; multicriteria analysis; geographic information system; urban planning.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Ecologia da Paisagem como ponte de conhecimento .....                                                | 32  |
| <b>Figura 2.</b> Rede de infraestrutura verde conectada por hubs, links e sites. ....                                 | 35  |
| <b>Figura 3.</b> Estrutura do UCMa.....                                                                               | 42  |
| <b>Figura 4.</b> Localização do município de Belo Horizonte e regionais administrativas..                             | 44  |
| <b>Figura 5.</b> Modelo digital de elevação do município de Belo Horizonte .....                                      | 45  |
| <b>Figura 6.</b> Vegetação natural e hidrografia de Belo Horizonte .....                                              | 46  |
| <b>Figura 7.</b> Planta geral da Cidade de Minas .....                                                                | 48  |
| <b>Figura 8.</b> Ocupação informal em antiga área verde do Conjunto Paulo VI, região Nordeste de Belo Horizonte ..... | 52  |
| <b>Figura 9.</b> Unidades climáticas “naturais” de Belo Horizonte .....                                               | 54  |
| <b>Figura 10.</b> Unidades climáticas de Belo Horizonte. ....                                                         | 56  |
| <b>Figura 11.</b> <i>Hotspots</i> de vulnerabilidade em Belo Horizonte para o ano de 2016. ...                        | 58  |
| <b>Figura 12.</b> Fluxograma dos passos metodológicos adotados para o Produto 1. ....                                 | 63  |
| <b>Figura 13.</b> Fluxograma dos passos metodológicos adotados para o Produto 2. ....                                 | 64  |
| <b>Figura 14.</b> Produtos que se complementam e suportam o planejamento.....                                         | 65  |
| <b>Figura 15.</b> Variável Infraestrutura Azul .....                                                                  | 82  |
| <b>Figura 16.</b> Variável Vegetação Institucional .....                                                              | 85  |
| <b>Figura 17.</b> Variável NDVI .....                                                                                 | 86  |
| <b>Figura 18.</b> Camada Oferta de Recursos Naturais.....                                                             | 88  |
| <b>Figura 19.</b> Variável Densidade de Ocupações .....                                                               | 90  |
| <b>Figura 20.</b> Variável Densidade de Edificações .....                                                             | 91  |
| <b>Figura 21.</b> Variável Densidade Volumétrica.....                                                                 | 94  |
| <b>Figura 22.</b> Camada Condições Antrópicas .....                                                                   | 95  |
| <b>Figura 23.</b> Camada Tipologias Climáticas .....                                                                  | 97  |
| <b>Figura 24.</b> Camada Vulnerabilidade Climática.....                                                               | 99  |
| <b>Figura 25.</b> Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental .....                                                    | 101 |
| <b>Figura 26.</b> Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental e Climática (Produto 1) ....                             | 103 |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 27.</b> Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas .....                                                      | 105 |
| <b>Figura 28.</b> Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas.....                            | 107 |
| <b>Figura 29.</b> Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas, de Clima e Vulnerabilidade Climática (Produto 2) ..... | 109 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Quadro 1.</b> Relação entre os canais de percepção e os benefícios da vegetação ....                                                                       | 26 |
| <b>Quadro 2.</b> Organização geográfica do SCU .....                                                                                                          | 28 |
| <b>Quadro 3.</b> Breve histórico de políticas públicas de arborização urbana .....                                                                            | 50 |
| <b>Quadro 4.</b> Legenda das unidades climáticas “naturais” de Belo Horizonte .....                                                                           | 55 |
| <b>Quadro 5.</b> Descrição dos critérios e variáveis correspondentes de cada camada. ..                                                                       | 66 |
| <b>Quadro 6.</b> MCA-AC entre as camadas Oferta de Recursos Naturais e Condições Antrópicas .....                                                             | 74 |
| <b>Quadro 7.</b> MCA-AC entre mapa de Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas e camada Tipologias Climáticas .....                               | 75 |
| <b>Quadro 8.</b> MCA-AC entre mapa de Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas e camada Vulnerabilidade Climática..... | 77 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AR4: Quarto relatório de avaliação do IPCC, em inglês

AR5: Quinto relatório de avaliação do IPCC, em inglês

AR6: Sexto relatório de avaliação do IPCC, em inglês

GEE: Gases Efeito Estufa

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, em inglês

IV: Infraestrutura verde

LABGEO: Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG

MCA-AC: Análise multicritério por análise combinatória

MCA-PE: Análise multicritérios por peso de evidência

NDVI: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, em inglês

ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONG: Organização não governamental

PBH: Prefeitura de Belo Horizonte

PRODABEL: Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte

SCU: Sistema Clima Urbano

SIG: Sistema de Informação Geográfica

TVA: Trama verde azul

UC: Unidades de Conservação

UCMap: Metodologia alemã de desenvolvimento de Mapa de Clima Urbano, em inglês

UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais

## SUMÁRIO

|       |                                                                                            |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.    | INTRODUÇÃO.....                                                                            | 14  |
| 2.    | ASPECTOS TEÓRICOS E BASES CONCEITUAIS .....                                                | 23  |
| 2.1   | O sistema clima urbano e o planejamento das cidades .....                                  | 23  |
| 2.2   | Escalas do sistema clima urbano .....                                                      | 27  |
| 2.3   | O ecossistema urbano .....                                                                 | 29  |
| 2.4   | O conceito de infraestrutura verde: conectividade urbana, limitações e oportunidades ..... | 33  |
| 2.5   | Análise multicritérios e sua aplicação no meio urbano .....                                | 40  |
| 3.    | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – O MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE/MG .....                  | 43  |
| 4.    | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....                                                          | 60  |
| 4.1   | Processamento dos dados.....                                                               | 65  |
| 4.1.1 | Produção dos dados iniciais .....                                                          | 65  |
| 4.1.2 | Integração das camadas por MCA pesos de evidência .....                                    | 72  |
| 4.1.3 | Integração das camadas por MCA análise combinatória.....                                   | 73  |
| 5.    | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....                                                   | 80  |
| 5.1   | Camadas e variáveis .....                                                                  | 80  |
| 5.2   | Integração das camadas por MCA .....                                                       | 100 |
| 5.2.1 | Integração por MCA pesos de evidência.....                                                 | 100 |
| 5.2.2 | Integração por MCA análise combinatória .....                                              | 104 |
| 5.3   | Conclusões .....                                                                           | 110 |
| 6.    | CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                                                  | 112 |
|       | REFERÊNCIAS.....                                                                           | 116 |
|       | ANEXO A .....                                                                              | 124 |

## 1. INTRODUÇÃO

Antes mesmo da época pós-Segunda Guerra, a relação das cidades com a natureza era uma preocupação pelo fato de que as cidades precisavam lidar com problemas de urbanização como enchentes, estabilidade do solo, poluição das águas, pouca qualidade do ar e de mobilidade. Locais pouco modificados, antes habitados somente por aldeias indígenas, foram rapidamente transformados desconsiderando os processos naturais locais, o que é, sempre foi e sempre será tão custoso quanto perigoso (SPIRN, 1995). As diversas necessidades de prover alimento, segurança, energia e, facilitar a circulação de pessoas dentro e fora do núcleo urbano produzem um ecossistema muito diferente do existente anteriormente à cidade, pois é um sistema sustentado por importação maciça de energia e matérias-primas. Segundo Spirn (1995), à medida que as cidades crescem em tamanho e densidade, as mudanças que produzem no ar, no solo, na água e na vida agravam os problemas ambientais que também afetam o bem-estar de cada morador.

O sistema urbano remanescente da Revolução Industrial visava a alta produção de produtos e de crescimento econômico, utilizando maior quantidade de recursos para maior produção de materiais, sem observar ou zelar pela qualidade do meio ambiente natural (MAGRINI, 2001; POTT e ESTRELA, 2017), ocasionando assim diversos desastres ambientais durante a História. Podem ser citados desastres relacionados à poluição do ar, como no Vale do Meuse, Bélgica em 1930 e o smog em Londres em 1952; e à contaminação de águas, como na Baía de Minamata, Japão em 1956. Na década de 60, com a percepção do impacto negativo dos processos industriais sobre os ecossistemas, Carson (1969), critica fortemente os malefícios causados pelo uso de pesticidas nos Estados Unidos, defendendo a sobrevivência da raça humana, a conservação e a preservação da natureza e o direito à qualidade de vida e saúde (BONZI, 2013). A partir da obra de Carson, movimentos ambientalistas norte-americanos se fortalecem tendo como principal viés o de popularizar uma nova concepção civilizatória que não trate a Natureza como inimiga do Homem. Pott e Estrela (2017) afirmam que acontecimentos de grande impacto e com perda de milhões de vidas foram o estopim, partindo da população e passando pela comunidade científica até chegar aos governantes de todo mundo, para iniciar discussões a fim de encontrar formas de remediação e prevenção para que grandes catástrofes não se repetissem. Nesse contexto global, o Clube de Roma publica em 1972 o Relatório “Os Limites do Crescimento” (*The Limits to Growth* em inglês) onde afirmam que a sociedade estava excedendo os limites ecológicos e que seria necessário tomar medidas para gerar uma curva de acomodação para o consumo desses recursos (MOTA *et al*, 2008). Nesse mesmo ano foi realizada a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano organizada pela Organização das Nações Unidas - ONU, mais conhecida como Conferência de Estocolmo. Conforme Mota *et al* (2008), a conferência foi

importante, pois reconheceu-se, do ponto de vista internacional, a importância dos instrumentos de gestão ambiental para promoção de um desenvolvimento de forma mais sustentável, tendo como preocupação a poluição e a preservação dos recursos naturais.

Com a utilização de programas de vigilância meteorológica e pesquisas sobre a atmosfera global realizadas na década de 60, a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization - WMO* em inglês) realiza a Primeira Conferência Mundial do Clima, em 1979, com caráter mais científico, a fim de que as nações tomem conhecimento e investiguem os impactos climáticos no globo terrestre. A partir disso, diversas outras conferências e relatórios foram desenvolvidos, reforçando a necessidade de preocupação e de tomada de decisão em relação às mudanças do clima. Pode-se destacar a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o IPCC (1988), a realização da ECO-92 (1992), a COP3, onde foi firmado o Protocolo de Kyoto (1997) e, mais recentemente a COP21 (2015) com a assinatura do Acordo de Paris. As mudanças climáticas e o aquecimento global tem feito parte das agendas políticas das nações acompanhando a comunidade científica que estuda e monitora a temperatura da Terra. A WMO (2019) confirmou que o mês de junho de 2018 foi o junho mais quente desde que a temperatura da Terra é verificada, em 1880. Além disso, o ano de 2017 foi um dos três anos mais quentes já registrados no mundo. Os outros anos são o de 2015 e 2016 (WMO, 2018). É sabido que as mudanças climáticas trazem perigos iminentes e com grande potencial devastador para a espécie humana. Busca-se um consenso em relação à temática, pois ainda é um grande desafio convergir a forma com que os diversos atores envolvidos compreendem alternativas válidas de ação. Echegaray e Afonso (2014) discutem sobre a questão e comentam que empresas e alguns setores de governança e da comunidade científica trabalham com a premissa de que as mudanças climáticas representam riscos e desafios que agem como situações de pressão, porém como cenários de oportunidades também, pelo fato de poder gerar oportunidades de inovação de soluções e tecnologia. Por outro lado, ONGs, entidades da sociedade civil, governanças do meio ambiente e da saúde, assim como inúmeros membros da comunidade acadêmica questionam a eficácia das respostas tecnológicas e interpretam que as melhores soluções para as mudanças do clima passam, ao mesmo tempo, por mudanças de conduta pessoal, mudanças de estilo de vida. Tal reflexão leva-nos a questionamentos sobre como desenhar ações de resposta de forma a equilibrar a responsabilidade entre os diversos atores envolvidos, assim como, entender o papel da tecnologia e das técnicas de planejamento urbano frente aos efeitos das mudanças do clima global.

Dentre diversas conclusões, o Sexto Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas do IPCC (AR6 - IPCC, 2021) reafirma que a ação humana é provavelmente a maior responsável pelo aquecimento global nos últimos 50 anos e conforme indicação do Quinto Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas do

IPCC (AR5 - IPCC, 2014), muitos dos riscos globais das mudanças climáticas estão concentrados em áreas urbanas, como risco de problemas graves de saúde e mortalidade de populações mais vulneráveis em situações de calor extremo, ocorrências de grandes inundações e deslizamentos de terra, precipitações extremas, escassez de água, além da insegurança alimentar proveniente da quebra de cadeias produtivas e falta de manutenção dos serviços acossistêmicos. Conforme os últimos relatórios do IPCC (AR6 – IPCC, 2021; AR5 - IPCC, 2014), a urbanização intensifica o aquecimento local, aumentando a severidade das ondas de calor. Há previsão de que as mudanças climáticas causem impactos que desacelerem o crescimento econômico das áreas urbanas, tornando assim, ainda mais complexa a tomada de ação para redução da pobreza, aumentando a desigualdade social e colocando em risco a segurança alimentar das populações mais vulneráveis economicamente.

Pelo fato das cidades serem grandes ecossistemas construídos abertos, dinâmicos, complexos e inter-relacionados que não se sustentam por si mesmo, mas precisam de energia e matéria para seu funcionamento com equivalente geração de resíduos e poluição (HERZOG e ROSA, 2010), diversas pesquisas buscam ferramentas para modificar o ecossistema urbano atual a fim de que ele se torne mais amigável ao meio ambiente e aos recursos naturais presentes nos territórios urbanizados. Soluções baseadas na natureza e conceitos de planejamento urbano que incluam abordagens mais ecológicas estão presentes nas discussões contemporâneas sobre aumento da capacidade de resiliência das cidades buscando compreender suas abordagens, possíveis aplicações e resolver confusões metodológicas existentes, principalmente entre os conceitos de trama verde azul (TVA) e infraestrutura verde (IV) que são erroneamente compreendidos como iguais.

Apesar de serem conceitos presentes em um grande volume das pesquisas recentes, são conceitos advindos de experiências anteriores de planejamento urbano e paisagístico. Ambos tratam de desenvolver uma rede de áreas verdes e áreas naturais, porém há diferenças em seus objetivos de implementação no planejamento urbano<sup>1</sup> e desenvolvimento do conceito. A ideia da trama verde azul surge em um contexto de reconversão territorial na antiga região francesa *Bassin Minier de Nord-Pas-de-Calais*. A TVA remete ao conceito de sistema ou rede ecológica que surgiu a partir da Convenção da Diversidade Biológica, na ECO-92, visando preservar os processos e sistemas ecológicos globais, assim como os conjuntos dos espaços naturais e seminaturais no territórios. Oliveira e Costa (2018) pontuam que é possível observar muitas semelhanças da TVA com programas europeus contemporâneos como o Natura 2000, de 1992, que objetivava formar

---

<sup>1</sup> A introdução apresenta um breve histórico de desenvolvimento da TVA e da IV. Uma conceituação mais detalhada considerando seus objetivos de aplicação pode ser encontrada no capítulo 1, item 4 da dissertação.



uma rede europeia de áreas protegidas até o ano 2000 e a Estratégia Pan-europeia, de 1995, que tinha como foco a proteção da diversidade biológica e das paisagens por meio de preservação da biodiversidade e valorização do patrimônio cultural. A Estratégia Pan-europeia previa também a criação de uma rede ecológica europeia constituída de zonas núcleo, corredores, zonas a restaurar e zonas tampão.

Em relação ao conceito de infraestrutura verde, o primeiro esforço integrado de projeto de uma infraestrutura verde em larga escala nos Estados Unidos nasceu em 1990, quando Maryland iniciou uma iniciativa estadual de planejamento de vias verdes, que deu origem a uma análise ecológica estadual e a mapas de infraestrutura verde (BENEDICT e MCMAHON, 2009). A infraestrutura verde vem sendo desenvolvida durante a história da urbanização e é derivada de diversas iniciativas de ordenamento das áreas verdes, de forma isolada ou sistêmica, que desenvolveram-se desde a Revolução Industrial, de forma a minorar os problemas ambientais e sociais dos espaços urbanos (MADUREIRA, 2012). Na década de 90, quando a sustentabilidade estava se tornando uma meta global e nacional para os Estados Unidos, o desenvolvimento sustentável estava fortemente presente nas pautas de discussões e de estudos, o que fortaleceu a busca por um mecanismo que pudesse lidar com a complexidade da sustentabilidade e da conservação da terra. Segundo Benedict e McMahon (2009), diversas ações foram iniciadas, nem todas advindas do governo local, após Maryland (1990), buscando fazer o melhor uso do solo, reservando terras para conservação antes que a ameaça de desenvolvimento seja iminente.

No cenário internacional, é possível identificar diversos estudos que buscam compreender conceitos, ferramentas e metodologias que buscam aumentar a capacidade de resiliência das cidades, principalmente quando se diz respeito a ilhas de calor e aquecimento global, além do que é visto uma grande preocupação dos pesquisadores em investigar modelos mais sustentáveis de manejo das águas urbanas, desde o tratamento de corpos d'água e do esgoto gerado até a reorganização do ciclo da água em território urbano. Estudos relevantes aliando a teoria dos conceitos juntamente com ferramentas de modelagem e simulação são comumente encontradas.

São observados esforços da comunidade científica brasileira em acompanhar os estudos internacionais e produzir estudos que sejam condizentes com as características específicas de cidades de clima tropical, como as cidades brasileiras. Há poucas pesquisas brasileiras relacionadas à infraestrutura verde urbana como forma de gestão territorial e ferramenta de aumento de adaptação e resiliência, principalmente com análises e diretrizes mais detalhadas para o planejamento urbano, fazendo com que diversas lacunas no conhecimento ainda existam. Além disso, é possível identificar algumas confusões metodológicas acerca do conceito em alguns estudos que procuram avançar na temática, o que dificulta uma discussão

para aprimorar e evoluir na compreensão da questão (SCHUTZER, 2014). Apesar disso, é observado que a temática envolvente ao conceito de infraestrutura verde está mais presente nos debates em disciplinas de programas de pós-graduação, além de poder ser encontrados artigos e estudos realizados mais recentemente. Se faz necessário destacar que há pesquisas com grande relevância sobre arborização urbana, o microclima urbano e formas eficazes de se obter um desenvolvimento mais sustentável a fim de gerar ambientes urbanos com maior capacidade de resiliência (SHINZATO, 2009; DUARTE, 2010; HERZOG e ROSA, 2010; FRANCO, 2010; DOBBERT e ZANLORENZI, 2014; HANNES, 2015; MASCARELLO, BARBOSA e ASSIS, 2017).

Há grande preocupação em tornar as cidades brasileiras mais resilientes, muito pelo fato da ocorrência frequente de enchentes, deslizamentos, ondas de calor e doenças virais que marcam a história das cidades e ainda se fazem presente na vida da sociedade brasileira. Nos países emergentes que tiveram sua história marcada pela colonização, como o Brasil, o início da sua urbanização e a fixação de pessoas no território tinha como finalidade a extração de bens naturais, sem preocupação alguma com o local. Buchala, Silva e Assis (2018) comentam que a ocupação territorial brasileira ocorreu de forma muito lenta, pois conforme Santos (1993, p. 26), o Brasil, durante os séculos XVI e XIX, foi um grande arquipélago formado por subespaços com pólos dinâmicos internos em evolução sem ter interdependência entre eles, dificultando assim, a formação da rede urbana brasileira. Durante o século XX o processo de urbanização ocorreu de forma rápida e desordenada decorrente de uma industrialização tardia. Tal época é marcada por grandes fluxos migratórios das áreas rurais para as áreas urbanas sem planejamento e infraestrutura adequada, resultando assim em cidades desordenadas, desiguais e com estruturas precárias de serviços urbanos, principalmente em áreas afastadas ao centro consolidado onde grandes populações vivem em área de risco ou em áreas de interesse ambiental (SANTOS, 1993). Fonseca *et al* (2013) comenta que o crescimento urbano de países em desenvolvimento parece superar a capacidade de suporte do planeta, sendo importante observar que suas populações vêm sendo motorizadas de forma ainda crescente, trazendo consequências ambientais para a sociedade, à saúde e ao meio ambiente.

No Brasil, segundo dados de pesquisas recentes, mais de oitenta por cento da sua população é urbana (EMBRAPA, 2017). A tendência é de que a população urbana continue aumentando e, com isso, aumente também suas demandas para abastecimento, infraestruturas diversas e tratamento dos resíduos descartados. Sendo do conhecimento da comunidade científica que as cidades já sofrem os efeitos das mudanças climáticas e que o cenário urbano será ainda bastante prejudicado (AR6 - IPCC, 2021; AR5 – IPCC, 2014), é do interesse de pesquisadores brasileiros e de uma parcela de tomadores de decisão investigar a melhor forma de modificar o modelo de cidade que é produzido tradicionalmente e

alterar esse padrão urbano por cidades com maior capacidade de resiliência e de adaptação aos diversos impactos climáticos.

O Brasil é signatário do Acordo de Paris, assumindo a responsabilidade de gerenciar ações de adaptação e mitigação aos efeitos das mudanças climáticas. Alguns dos compromissos firmados são o de diminuir a emissão de gases estufa por meio da desaceleração do desmatamento da Amazônia, o incentivo à eficiência energética e investimentos em energias renováveis, em transporte de veículo leve e mobilidade urbana de baixo carbono (BRASIL, 2015). As ações voltadas para alcançar a adaptação e a mitigação das mudanças do clima nas cidades brasileiras ainda são tímidas se considerarmos a importância do papel que o meio urbano desempenha e ainda poderá desempenhar com a produção de cidades menos agressivas à natureza e que possam assegurar o fornecimento dos serviços ecossistêmicos. De acordo com o Inventário Nacional de Emissões de GEE, as emissões do Brasil em 2012 eram 41,1% menos do que o registrado em 2005 e a principal razão para essa queda foi relativa ao setor de floresta, agricultura e mudança do uso do solo. Não há dúvida quanto à relevância desse setor, porém não se pode negligenciar o potencial significativo de redução das emissões que ocorrem no meio urbano (PBMC, 2016). É notável que um dos desafios para a efetividade de ações de mitigação das mudanças climáticas nas cidades brasileiras é fazer com que o debate sobre o assunto chegue até o nível da municipalidade com leis e normativas capazes de orientar os diversos níveis de governança, a fim de que ações efetivas sejam traçadas e realizadas ocasionando mudanças concretas no tecido urbano local.

Quando se observa a legislação brasileira buscando encontrar normativas para a arborização urbana, mais precisamente a arborização urbana viária que está fora dos lotes particulares e dos parques ou unidades de conservação, é possível verificar a carência de textos regulatórios para dar embasamento às ações relacionadas com a vegetação urbana no geral. Em nível federal, é observado que a Constituição Federal Brasileira de 1988 busca abranger o ambiente urbano, porém de forma muito superficial em seu Título VIII, Capítulo VI, Art. 225 garantindo o direito de ter-se um meio ambiente ecologicamente equilibrado à todos os cidadãos por ser compreendido que tal questão é essencial à uma qualidade de vida sadia, ficando para o Poder Público e a coletividade a responsabilidade de defender e preservar esses ambientes, garantindo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 2019). A Lei 6.766/1979, mais conhecida como Lei do Parcelamento Urbano diz em seu artigo 1º que “O parcelamento do solo para fins urbanos será regido por esta Lei” e em seu parágrafo único diz que “Os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão estabelecer normas complementares relativas ao parcelamento do solo municipal para adequar o previsto nesta Lei às peculiaridades regionais e locais” (BRASIL, 1979). Ao longo da Lei 6.766/1979 são abordados alguns requisitos urbanísticos para loteamentos, sem considerar diretamente a arborização urbana viária. Ainda em nível federal, analisando a Lei nº10.257/2001

denominada Estatuto da Cidade, é possível verificar diretrizes sobre a elaboração de estudos de impacto de vizinhança para obter as licenças ou autorizações de construção, ampliação ou funcionamento, onde a lei prevê a análise, dentre outros aspectos, a paisagem urbana e o patrimônio natural e cultural. A lei ainda prevê que o Poder Público tem direito de compra de imóveis urbanos (preempção) quando for necessário criar espaços públicos de lazer e áreas verdes, unidades de conservação ou proteger áreas de interesse histórico, cultural ou paisagístico (BRASIL, 2011). O Estatuto da Cidade é a lei que regula o Plano Diretor. Pode-se observar que quando comenta sobre as obrigações do Plano Diretor, a lei não menciona a necessidade de considerar áreas verdes ou a arborização urbana.

Observa-se a abertura de leis federais para que os estados e municípios complementem as normativas vigentes a fim de que a lei se adeque à situação de cada localidade, porém as normativas federais acabam sendo muito generalistas com diretrizes até mesmo vagas, dando toda responsabilidade de reger os atos dos cidadãos para os governos mais locais. É um ponto muito sensível, pois estados e municipalidades que não tenham um corpo técnico qualificado e interessado em traçar diretrizes sustentáveis não poderão avançar em certas discussões, como sobre resiliência urbana, por exemplo. Pode ser observado que as leis federais perdem forças de regulação e normatização do espaço urbano, ficando os órgãos de governança estadual e municipal muito livres para criar as orientações que entendem como necessárias ao desenvolvimento das cidades.

Partindo do entendimento de que as cidades brasileiras precisam reavaliar o planejamento urbano que vem sendo desenvolvido durante anos para adaptar os centros urbanos e torná-los mais resilientes aos efeitos negativos das mudanças do clima e que ações urgentes precisam ser traçadas e adotadas para que aconteçam mudanças reais na gestão territorial a fim de fazer a diferença no enfrentamento dos eventos extremos, é visto que a legislação vigente no Brasil referente às cidades são insuficientes e com grande deficiência em gerir o meio urbano, muito pelo fato de não considerarem lacunas importantes na gestão territorial, principalmente em tempos onde um novo modelo de urbanização precisa ser desenvolvido.

Com base no contexto introduzido, é possível identificar algumas lacunas de conhecimento de grande relevância para o desenvolvimento urbano sustentável. É a partir desse contexto que é realizada a investigação aqui colocada. Esse estudo tem como premissa de que a arborização inserida no planejamento urbano como um instrumento estratégico de aumento de resiliência urbana pode desempenhar funções bastante satisfatórias para a amenização térmica e melhoria do microclima urbano, considerando os serviços ecossistêmicos envolventes e a biologia vegetal dos indivíduos arbóreos. Muitos dos conceitos paisagísticos ainda estão inseridos na forma como as cidades brasileiras são planejadas. Conceitos com abordagens contemporâneas como a infraestrutura verde urbana estão sendo amplamente

estudados pela comunidade científica por se mostrarem eficazes frente à necessidade de se produzir cidades mais amigáveis com o meio ambiente e com maior potencial de resiliência aos efeitos térmicos negativos ocasionados pelas mudanças climáticas. No entanto, ainda se faz necessário maiores investigações à respeito do conceito, e sobretudo, maior compreensão a fim de que se evite utilizar uma abordagem equivocada ou até mesmo superficial da temática em discussão.

Compreende-se neste estudo que conceito de infraestrutura verde urbana é bastante relevante ao cenário urbano, porém é necessário extrair do conceito, métodos praticáveis para que seja factível a mudança das políticas públicas urbanas, havendo, ao mesmo tempo, mudanças concretas na forma como a cidade é produzida. Portanto, esta pesquisa tem como objetivo geral desenvolver um modelo de análise multicritérios para a elaboração de um mapa de áreas significativas à constituição de infraestrutura verde urbana na cidade de Belo Horizonte/MG.

Como objetivos específicos:

- Identificar os conceitos biológicos e serviços ecossistêmicos que tenham relação com a infraestrutura verde urbana, servindo de norteadores à elaboração dos critérios e indicativos de áreas aptas a constituir essa infraestrutura;
- Identificar áreas onde a arborização urbana e os recursos naturais têm relevância ao tecido urbano e para microclima de Belo Horizonte, podendo ser caracterizadas como áreas focais ou *hubs* na infraestrutura verde urbana;
- Identificar as áreas mais vulneráveis na cidade de Belo Horizonte onde a infraestrutura verde urbana pode ser uma ferramenta estratégica de aumento de resiliência urbana;
- Aplicar e compreender o uso de ferramentas de geoprocessamento e de Sistema de Informação Geográfico – SIG para o desenvolvimento de modelo analítico e de recomendações de ação e planejamento para o tecido urbano do município.

Espera-se que o mapa resultante deste estudo seja útil para aumentar o embasamento científico de políticas públicas como a formulação de um Plano de Arborização pela Prefeitura Municipal e para demais ações pretendidas visando a proposição de medidas de adaptação do território e aumento da capacidade de resiliência térmica do município de Belo Horizonte. Acredita-se que, através da discussão e da metodologia proposta, esta investigação poderá contribuir para um debate mais qualificado com a municipalidade e a sociedade em geral.

A temática envolvente ao estudo se mostra interdisciplinar por natureza pelo fato de permear o tripé da sustentabilidade (ambiental, social e econômico) e envolver áreas do conhecimento que extrapolam os limites das disciplinas convencionais (arquitetura, urbanismo, biologia, ecologia, agronomia). A abordagem da cidade como um patrimônio e resultado das diversas modificações da sociedade reforça a importância de ser compreendida a produção da paisagem urbana, indo além dos conceitos estéticos utilizados em épocas anteriores à contemporânea. De tal forma, a investigação se faz relevante aos questionamentos colocados pela comunidade científica e sociedade civil no tocante das mudanças climáticas e do clima urbano, o que não faz com que a discussão se esgote neste estudo. É compreendido que a temática é ampla e que necessita de investigação profunda com métodos claros e praticáveis, sendo possível uma real mudança no tecido urbanizado.

Após esta introdução, a presente dissertação está organizada em mais 4 capítulos. No capítulo 1 é apresentado o conteúdo teórico de embasamento da pesquisa. Está dividido em subcapítulos envolvendo as temáticas de clima urbano e suas escalas, o ecossistema urbano, o conceito de infraestrutura verde com suas limitações e oportunidades e após, aplicações da análise multicritérios em estudos recentes. No capítulo 2 é apresentada a caracterização da cidade de Belo Horizonte como caso de estudo. No capítulo seguinte denominado “Procedimentos metodológicos” são trazidos os passos da metodologia utilizada, assim como o fluxograma, dados georreferenciados utilizados para a elaboração do modelo analítico e desenvolvimento das análises multicritérios, suas camadas, variáveis e pesos e notas adotadas. No capítulo 4 são discutidos os resultados obtidos a partir das análises realizadas. As considerações finais sobre o estudo em questão são colocadas e, por fim, as referências bibliográficas.

## **2. ASPECTOS TEÓRICOS E BASES CONCEITUAIS**

### **2.1 O sistema clima urbano e o planejamento das cidades**

Em sua tese de livre docência, o professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro direcionou seus estudos de climatologia para a geografia das cidades. Analisando o clima urbano, relacionou-o com a ocupação das cidades e as relações humanas envolvidas. Tal associação foi visionária e disruptiva para a época norteando muitos estudos futuros referentes a temática. Dentre eles, foram destacados pelo próprio Monteiro (2020) as contribuições de Gonçalves (1991), Mendonça (1995), Brandão (1996), Danni-Oliveira (2000) e Assis (2001). Ugeda Júnior e Amorim (2016) concluem que a maioria dos trabalhos produzidos no Brasil referentes a climatologia urbana faz referência direta ou indiretamente à teoria de Monteiro (1976). Freitas (2018) comenta que a proposta de Monteiro (1976) é um subsídio eficaz para estudos de clima urbano no Brasil por ser uma metodologia brasileira voltada ao clima tropical e por possibilitar evoluções metodológicas.

Apoiado em estudos anteriores sobre o clima nas cidades e na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1950), Monteiro (1976) desenvolve a teoria do Sistema Clima Urbano (SCU), uma referência teórica para estudos do clima urbano, compreendendo-o como um sistema dinâmico e adaptativo. Desse modo, seria possível entender de forma mais plausível quais são os elementos integrantes do clima urbano, as transformações ocorridas nele e as associações entre o clima e os processos urbanos. A proposição do clima urbano como um sistema está baseada em cinco critérios básicos: o pragmatismo, o dinamismo, a consistência, o empirismo e o modelismo. Sendo assim, sua teoria admite investigações e questionamentos para emitir respostas e solucionar problemas, pois para Monteiro (2020) é uma questão de sobrevivência humana compreender o clima urbano. Pelo fato do fenômeno urbano ser dinâmico, sua moldura teórica também precisa ser capaz de revelar tal dinamismo em diversos graus, assim como necessita ser capaz de enquadrar tanto fatores mais amplos e complexos como os mais simples e restritos, sendo possível orientar a investigação sobre o clima urbano em qualquer cidade do globo. Além disso, Monteiro (2020) comenta sobre a importância da sua teoria ser suscetível e orientada à observação empírica por meio de testes de verificação ou refutação e modelagem, tornando plausível o aperfeiçoamento continuado da base teórica referente.

O SCU é composto por dez enunciados que apresentam suas características mais definidoras. Em cada enunciado é possível identificar uma ligação íntima da proposição teórica com a urbanização e a percepção dos habitantes da cidade sobre o clima. O SCU é passível de autorregulação, função essa conferida ao homem urbano que é capaz de conhecer o clima urbano, detectar suas disfunções e intervir, adaptando seu funcionamento por meio de dispositivos e planejamento interdisciplinar (MONTEIRO, 2020). Por essa razão, Monteiro (1976) associou a

capacidade de conscientização humana dos problemas da cidade a grandes conjuntos de fenômenos do universo climático. Assim, o autor organizou tal associação em 3 subsistemas chamados de canais de percepção. Os fenômenos compreendidos não atuam de forma isolada no SCU, porém os subsistemas são um artifício para facilitar a realização de análises, pois compreender o clima como um todo não seria possível. Segundo a proposta de Monteiro (1976), os canais de percepção são:

- Canal I - Conforto térmico: Envolve componentes termodinâmicas que se expressam através do calor, ventilação e umidade. Conforme Monteiro (2020), esse é um canal perceptivo bastante significativo, pois o uso do solo urbano influencia nesse aspecto permanentemente transformando o clima urbano e produzindo “ilhas de calor”, ventilação e aumento de precipitação, gerando efeitos diretamente na população urbana como desconforto e alteração do desempenho humano.
- Canal II - Qualidade do ar: Acompanhada de diversos tipos de poluição, a do ar é a principal que afeta a qualidade ambiental urbana. A alta circulação de veículos a autocombustão, a concentração industrial e outras formas de produção contaminam a atmosfera provocando uma grande contaminação do ar, consequentemente acarretando efeitos como problemas sanitários, doenças respiratórias, dentre outros.
- Canal III - Impactos meteóricos: São agrupados nesse canal todos de eventos hídricos (chuva, neve, nevoeiro), mecânicos (tornados) e elétricos (tempestades) que se manifestam com intensidade e são capazes de causar produtos que impactam a cidade, perturbando ou desorganizando sua circulação convencional e atingindo diretamente a vida das pessoas.

A partir dos canais de percepção, fica evidente a correlação entre o SCU e o planejamento das cidades. Monteiro (2020) comenta que a cidade é o lugar de mais efetiva interação entre o homem e a natureza, sendo também o local onde as resultantes ambientais são configuradas como uma obra conjunta de uma natureza retrabalhada aos propósitos da vida humana. A teoria do SCU é uma investigação do clima urbano que o compreende como um sistema onde o homem e a natureza exercem uma coparticipação. Por isso, a autorregulação do SCU deve ser uma necessidade incluída no planejamento das cidades para que o homem atue no clima urbano conscientemente através de estratégias que subsidiam as decisões do poder público e da sociedade.

Inúmeros estudos apontam os benefícios da vegetação ao clima das cidades. As cidades do século XXI têm a necessidade de se tornar locais mais biodiversos e com maior capacidade de resiliência frente às mudanças climáticas globais (BUCHALA, 2018). Pelo fato da vegetação de porte arbóreo desempenhar funções biológicas



relevantes à melhoria do clima urbano, a autora conclue que a arborização não é somente um recurso estético para as cidades, mas com o avanço das pesquisas científicas, é um recurso estratégico para a amenização das problemáticas vivenciadas nas cidades advindas da desregulação do clima. A partir de estudos recentes é possível desenvolver um paralelo entre os benefícios da presença de vegetação no meio urbano e cada um dos canais de percepção de Monteiro (1976), como visto no Quadro 1.

**Quadro 1.** Relação entre os canais de percepção e os benefícios da vegetação

| CANAIS DE PERCEPÇÃO SEGUNDO MONTEIRO (1976) | PRODUTOS DE TRANSFORMAÇÃO DO SCU SEGUNDO MONTEIRO (1976)  | EFEITOS DIRETOS NA CIDADE SEGUNDO MONTEIRO (1976)                   | BENEFÍCIOS DA VEGETAÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Canal I<br>Conforto térmico                 | "Ilhas de calor"<br>Ventilação<br>Aumento de precipitação | Desconforto e redução do desempenho humano                          | <p>A vegetação, principalmente arbórea tem impactos positivos no conforto térmico por manter a temperatura mais estável e aumentar a umidade do ar.</p> <p>A interiorização de vegetação de porte arbóreo na malha urbana por meio de corredores verdes potencializa seus efeitos positivos ao conforto térmico urbano.</p>                                  | <p>DOBBERT, ZANLORENZI, 2014</p> <p>DUARTE, 2015</p> <p>MASCARELLO, BARBOSA e ASSIS, 2017</p> <p>SHINZATO e DUARTE, 2018</p> <p>DUARTE, DI GIULIO e ROCHA, 2019</p>           |
| Canal II<br>Qualidade do ar                 | Poluição do ar                                            | Problemas sanitários<br>Doenças respiratórias, oftalmológicas, etc. | <p>A vegetação tem a capacidade filtragem do ar podendo ser uma maneira eficaz de mitigação a longo prazo.</p> <p>Corredores verdes criam vias aéreas que podem aproveitar os padrões naturais dos ventos e reduzir a poluição do ar estagnado.</p>                                                                                                          | <p>CITY OF STUTTGART, 2010</p> <p>GÓMEZ-MORENO, ARTÍÑANO, RAMIRO et al, 2019</p> <p>WU et al, 2019</p> <p>BADACH, DYMNICKA e BARANOWSKI, 2020</p>                             |
| Canal III<br>Impactos meteóricos            | Ataque à integridade urbana                               | Problemas de circulação e comunicação urbana                        | <p>A impermeabilização do solo é um dos fatores que intensificam eventos de inundação. Áreas verdes garantem certa permeabilidade de superfície, absorvem a água da chuva e liberam lentamente.</p> <p>Processos de erosão do solo e instabilidade de encostas podem ser contidos com a utilização de vegetação evitando assim, deslizamentos de massas.</p> | <p>SILVEIRA, DIAS e SCHUCH, 2014</p> <p>GONÇALVES, GREGÓRIO e ASSIS, 2014</p> <p>LIU, FENG e NG, 2016</p> <p>ZHU, ZHANG, XIAO e LI, 2016</p> <p>OLLAURI e MICKOVSKI, 2017</p> |

**Fonte:** Adaptado de Monteiro (2020).

De fato, uma inserção de arborização na malha urbana não é a única alternativa para melhorar a qualidade de vida da população urbana, porém sua inserção nas cidades alinhada com um planejamento urbano adequado às características do território local se mostra como uma estratégia relevante e mais completa por atender as necessidades dos três canais de percepção, cada um em sua especificidade, desempenhando assim, o papel de elemento mitigador dos efeitos diretos da transformação do SCU no meio urbano.

A utilização da arborização como elemento estratégico de melhoria do clima urbano no planejamento das cidades parece ser um consenso entre pesquisadores, porém, em geral, muito pouco do conhecimento disponível é de fato contemplado nas diretrizes norteadoras dos municípios brasileiros. A interdisciplinaridade ainda é um desafio a ser ultrapassado, tanto entre pesquisadores e tomadores de decisão quanto entre pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento. Portanto, se faz relevante o desenvolvimento de estudos que se beneficiem do diálogo interdisciplinar para diminuir as lacunas existentes no arcabouço teórico, tornando-o mais legível aos tomadores de decisão e atores do planejamento urbano.

## **2.2 Escalas do sistema clima urbano**

A fim de facilitar a compreensão sobre a geografia do clima, diversos pesquisadores se debruçaram na tarefa de determinar uma organização por meio de escalas climáticas de abordagem. Assim, os estudos poderiam se aprofundar na teoria e buscar entender os processos ocorrentes em cada escala. No caso do clima urbano, se faz essencial compreender tais processos e sua relação com a superfície territorial. Monteiro (2020) na teoria do Sistema Clima Urbano propõe algumas terminologias de unidades climáticas, destacando os esforços para determinar as subdivisões da escala de clima local. A primeira subdivisão seria chamada de mesoclima, não necessariamente sendo a metade do clima local, mas significando uma parte dele. O mesoclima pode ser um conjunto de topoclimas (MONTEIRO, 2020) que são locais de comportamento microclimático parecidos, estando associados a variações de volume (edificações, uso do solo, etc) e traços topográficos (geografia local). A terceira subdivisão seria o microclima, unidade mais próxima dos limites urbanos e da escala da habitação. A partir dessa conceituação Monteiro (2020) demonstra a organização do SCU por meio da Quadro 2, sendo possível observar cada escala climática, o espaço urbano de referência e estratégias de abordagem em cada uma.

**Quadro 2.** Organização geográfica do SCU

| Ordens de grandeza<br>(Cailleux & Tricart) | Unidades de superfície | Escala cartográfica de tratamento | Espaços climáticos    | Espaços urbanos                                        | Estratégias de abordagem                  |                                                 |                                  |
|--------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                            |                        |                                   |                       |                                                        | Meios de observação                       | Fatores de organização                          | Técnicas de análise              |
| II                                         | (milhões de Km)        | 1:45.000.000<br>1:10.000.000      | Zonal                 | -                                                      | Satélites<br>Nefanálises                  | Latitude<br>Centros de ação atmosférica         | Caracterização geral comparativa |
| III                                        | (milhões de Km)        | 1:5.000.000<br>1:2.000.000        | Regional              | -                                                      | Cartas sinóticas<br>Sondagens aerológicas | Sistemas meteorológicos (Circulação secundária) | Redes transectos                 |
| IV                                         | (centenas de Km)       | 1:1.000.000<br>1:5.000.000        | Sub-Regional (fácies) | Megalópole<br>Grande área metropolitana                | Rede meteorológica de superfície          | Fatores geográficos                             | Mapeamento sistemático           |
| V                                          | (dezenas de Km)        | 1:250.000<br>1:100.000            | Local                 | Área metropolitana<br>Metrópole                        | Posto meteorológico<br>Rede complementar  | Integração geológica<br>Ação antrópica          | Análise espacial                 |
| VI                                         | (centenas de Km)       | 1:50.000<br>1:25.000              | Mesoclima             | Cidade grande<br>bairro ou subúrbio de metrópole       | Registros móveis (Episódicos)             | Urbanismo                                       | Especiais                        |
| -                                          | Dezenas de metros      | 1:10.000<br>1:5.000               | Topoclima             | Pequena cidade<br>Fácies de bairro/ subúrbio de cidade | (Detalhe)                                 | Arquitetura                                     |                                  |
| -                                          | Metros                 | 1:2.000                           | Microclima            | Grande edificação<br>Habitação<br>Setor de habitação   | Baterias de instrumentos especiais        | Habitação                                       |                                  |

**Fonte:** Monteiro (2020).

O entendimento do clima urbano e suas escalas devem ser integrados ao planejamento urbano para que ele garanta estratégias de regulação do clima e manutenção da qualidade ambiental adequadamente. A partir de estudos desenvolvidos por Assis (2010) foi verificado que há diversidade relevante nas condições climáticas atuantes no município de Belo Horizonte/MG. Além disso, seu território está localizado na transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrado (IBGE, 2019), havendo clara diversidade ambiental e ecológica. Tais questões reforçam estudos que relacionam a presença de diferentes tipologias de vegetação com o clima e o relevo local. Portanto, a inserção de vegetação e arborização no tecido urbano deve considerar as condições climáticas, além das métricas já observadas pelo planejamento urbano (uso do solo, espaçamento entre as edificações, paisagismo e estética urbana). São identificadas algumas limitações a serem vencidas para que as escalas climáticas sejam incluídas no desenho e planejamento das cidades. A temática das escalas climáticas é polêmica necessitando um maior consenso teórico que possibilite sua incorporação no planejamento urbano e diretrizes de ocupação territorial (ASSIS, 1997). Os limites e as transições das escalas climáticas serão sempre arbitrarias e artificiais, pois os fenômenos atmosféricos são, naturalmente contínuos e indivisíveis (ASSIS, 2010). Por isso, é

necessário se debruçar sobre a teoria para compreendê-la e aplicá-la corretamente aos estudos e análises realizadas. É percebido que a escala microclimática é constantemente abordada em estudos de qualidade de vida, conforto ambiental e, do mesmo modo, em abordagens na escala de municípios, porém é preciso ter cautela com a nomenclatura utilizada para classificar a escala climática para que as estratégias e métodos de análise possam ser selecionados de forma adequada à investigação. Neste estudo em questão foi realizada a análise do município de Belo Horizonte partindo primeiramente da escala mesoclimática, compreendendo o território por meio da situação topográfica (presença de serras e depressões) e das características dos seus diferentes topoclimas, obtendo resultados que podem contribuir no enfrentamento de problemas sofridos em escala microclimática, ou seja, em escala de planejamento urbano.

### **2.3 O ecossistema urbano**

A tradição colocou, em teoria, a cidade contra a natureza e vice-versa, dominou a maneira como é percebida e construída, o que é um grande problema, pois a cidade precisa ser reconhecida como parte da natureza e ser projetada de acordo com isso, buscando melhorar seu habitat (SPIRN, 1995). As cidades, em um contexto geral, modificaram seus ambientes naturais para se consolidarem primeiramente como assentamentos humanos e depois, como núcleos urbanos no modelo que conhecemos. Mesmo com as diversas modificações ocorridas nos territórios, a natureza continuou permeando a cidade, seja pela vegetação presente na malha urbana, pelo solo exposto ou até mesmo pela relação da cidade com o ar e seu microclima. De alguma forma, a natureza ou fragmentos dela estão presentes no meio urbano. Se reconhecidos e aproveitados, representam um poderoso recurso para a conformação de um habitat urbano benéfico. Caso ignorados, ampliam problemas que há séculos castigam as cidades como enchentes, deslizamentos, poluição do ar e da água (SPIRN, 1995).

Os problemas urbanos continuam a ser tratados de forma isolada e não como fenômenos interligados resultantes da ação humana. A ciência conta com um conjunto extenso de informações, porém poucos dados foram aplicados diretamente para modelar a cidade, do traçado das ruas até as formas dos edifícios (SPIRN, 1995). Observa-se o contexto urbano muito complexo, pois as áreas urbanas são diversas quanto ao tipo e uso do solo, declividade, vegetação, tipos e materiais de cobertura, estruturas de drenagem, o que afeta diretamente a maneira como a água se move pela cidade (PELLEGRINO, 2017), assim como modifica as relações naturais do balanço de energia auxiliando, ao mesmo tempo, na perda da biodiversidade existente. É necessário reestabelecer algumas conexões entre as pessoas e a natureza que começaram a ser perdidas na época do Renascimento e foram potencializadas na Era Industrial (LYLE, 1994).

As cidades do século XXI contam com diversos desafios de ordem climática e ambiental que colocam em risco a manutenção da qualidade e da segurança do território habitado. Para a sociedade contemporânea e as futuras gerações sobreviverem às ameaças eminentes das mudanças do clima global, o habitat humano precisa se tornar mais sustentável, o que nos leva a modificar padrões que alteram o comportamento individual e coletivo das pessoas, de habitantes citadinos até aqueles que tem responsabilidade direta com o desenho e o planejamento do território urbano. É compreendido que o urbanismo praticado nas cidades do século XXI deve contrapor o modelo de urbanização advindo de outras épocas. O modelo de cidade praticado até então produz um ecossistema urbano heterotrófico dependente de grandes áreas externas para a obtenção de energia, alimentos além de logística e investimento necessários para obter recursos como água potável, combustíveis, dentre outros. A ocorrência frequente de desastres ambientais e os desastres previstos para os próximos anos por meio das mudanças do clima torna evidente a vulnerabilidade do ecossistema urbano atual. Dessa forma, se faz extremamente relevante analisar e colocar em prática planos que contribuam com aumento da capacidade de resiliência das cidades.

Os ecossistemas naturais são exemplos de resiliência e adaptação à situações adversas. Por isso, torna-se necessário o entendimento dos mecanismos de interação da natureza, sua relação com o território edificado e como a urbanização pode produzir espaços mais resilientes considerando os fragmentos de natureza presentes na cidade. Os traçados urbanos devem ser adequados às condições singulares do clima e do território entendendo que cada situação geográfica deve gerar um urbanismo característico e diferenciado em cada localidade (HIGUERAS, 2006). Além disso, deve ser levado em consideração a proteção, a recuperação e o aumento da biodiversidade ainda existente nos territórios urbanos.

Gaston e Spicer (2004) entendem a biodiversidade, ou diversidade biológica, como "a variedade da vida" que se refere coletivamente à variação em todos os níveis de organização biológica. A definição dos autores está em consonância com a Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB realizada durante a ECO-92 na cidade do Rio de Janeiro. Segundo a CDB, a diversidade biológica é a variabilidade de organismos vivos de todas as origens nos diversos ecossistemas (terrestres, aquáticos, marinhos, dentre outros). Compreende ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas (BRASIL, 2000). A definição de biodiversidade é muito ampla e genérica. Por isso, é importante compreender que o assunto em questão está repleto de significados e necessita de definições complementares. O termo "biodiversidade" se tornou bastante familiar entre diversos grupos da sociedade, está presente em noticiários e pautas de gestões públicas. Muitos presumem que todos compartilham da mesma definição intuitiva, porém esse não é o caso necessariamente (GASTON e SPICER, 2004). Há o desafio de entender o que é biodiversidade no âmbito das cidades. O crescente interesse em

defender a diversidade biológica no meio urbano está frequentemente baseado em medidas pobres, incompletas e comumente enviesadas, impedindo a tomada de consciência sobre o conceito frente as ações antrópicas (PIRATELLI e FRANCISCO, 2013). É preciso clareza conceitual para avançar no conhecimento e sensibilizar gestores públicos, empreendedores e a população em geral. Nesse sentido, é necessário alcançar uma boa comunicação entre atores envolvidos nas áreas de planejamento da cidade a fim de implementar ações tecnológicas e políticas adequadas.

Assim como o termo “biodiversidade”, outro termo amplamente discutido é o de “serviços ecossistêmicos”. Alho (2012) comenta que o serviço ecossistêmico é a capacidade do processo natural de prover bens e serviços para as necessidades humanas, através de contribuições do ecossistema de forma direta ou indireta. Quanto maior a biodiversidade, maior a interação entre o ecossistema, há mais processos ecológicos e, conseqüentemente, mais serviços ecossistêmicos ofertados. Portanto, uma alta biodiversidade tem um melhor funcionamento dos serviços ecossistêmicos. Por estar permeada por uma visão de utilidade antropocênica, suas funções são reconceitualizadas à medida em que determinada função apresenta possibilidade ou potencial de ser utilizada para fins humanos (ANDRADE e ROMEIRO, 2009). Os serviços ecossistêmicos são divididos basicamente em quatro características principais:

- os serviços de provisão fornecendo alimentos e produtos aos seres humanos;
- os serviços de regulação sendo os benefícios que as pessoas tem pela regulação do ambiente como controle do clima, das chuvas, controle biológico de pragas, dentre outros;
- os serviços culturais obtidos através do contato com a natureza, contribuindo para a cultura e convívio social e
- os serviços de suporte que contribuem para a produção dos demais serviços ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes e formação do solo.

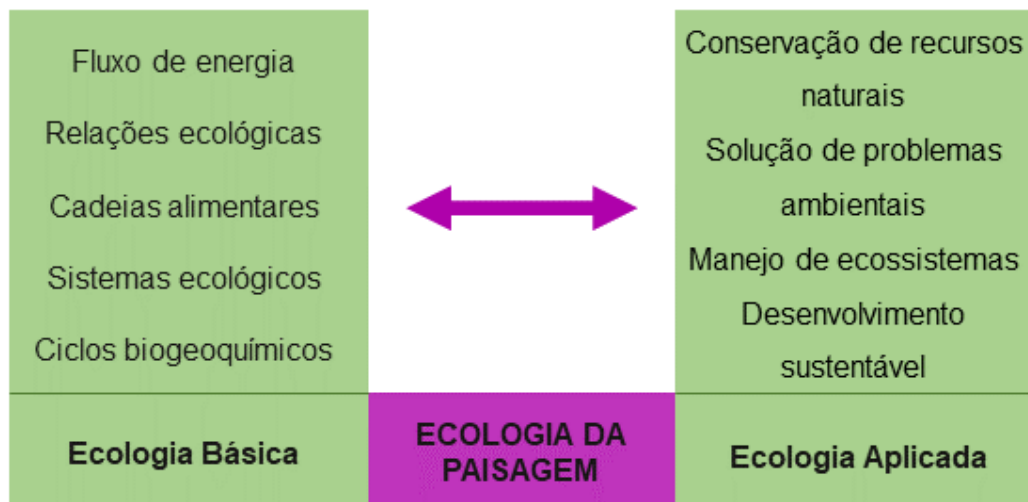
Grande parte do arcabouço teórico convencional desenvolve o conceito de serviços ecossistêmicos em contextos de ecossistemas e biomas naturais, não levando em consideração áreas altamente modificadas como, por exemplo, terras agrícolas e cidades (WRATTEN *et al*, 2013). No entanto, os serviços ecossistêmicos são de importância vital para a sobrevivência de ecossistemas antropizados, pois o habitat da maior parte da sociedade global é a cidade. É possível observar uma relação de retroalimentação. Para garantir a manutenção do ecossistema antropizado (a cidade) é preciso compreender até que ponto os serviços ecossistêmicos poderão suportar o desenvolvimento urbano e, ao mesmo tempo, como podemos aprimorar o ecossistema para manter e aumentar a oferta dos serviços ecossistêmicos.

Biodiversidade, ecossistema e serviços ecossistêmicos são conceitos advindos das áreas da Biologia e da Ecologia que ainda estão envoltos em lacunas do

conhecimento para arquitetos, urbanistas e demais atores do planejamento urbano, muito pelo fato de que a interdisciplinaridade é um grande desafio a ser vencido na teoria e na prática. As abordagens convencionais da Ecologia geralmente carecem de integração necessária para deixar explícita a importância da biodiversidade para o funcionamento do ecossistema e do bem estar humano (NAEEM *et al*, 2009). Tais abordagens tratam a biodiversidade de uma forma muito distante, o que dificulta o entendimento e a aplicação da ecologia no contexto do mundo moderno.

Por meio da necessidade de uma visão mais holística sobre as questões ambientais foi desenvolvida a área da Ecologia da Paisagem que tem como ponto de vista o estudo das inter-relações do homem com o seu espaço de vida e na solução de problemas ambientais, focado em paisagens modificadas pelo homem. É a área do conhecimento com maior potencial de construir uma ponte, visto em Figura 1, entre a Ecologia Básica tradicional e a Ecologia Aplicada que tem o objetivo de conservar o ecossistema natural, porém não considera a ação do homem diretamente (PIRATELLI e FRANCISCO, 2013).

**Figura 1.** Ecologia da Paisagem como ponte de conhecimento



**Fonte:** Adaptado de Piratelli e Francisco (2013).

Pelo fato da Ecologia da Paisagem combinar o estudo funcional da Ecologia com análises espaciais da Geografia, se torna mais possível o desenvolvimento de modelagens mais realistas que dêem suporte à uma gestão urbana sustentável, considerando os desenvolvimentos econômico e social com a conservação e aumento de biodiversidade dos territórios urbanos.



## **2.4 O conceito de infraestrutura verde: conectividade urbana, limitações e oportunidades**

Os conceitos de fragmentação e conectividade são amplamente discutidos pela Ecologia da Paisagem e de fundamental importância para o planejamento ecológico da paisagem (LEITE, PELLEGRINO e MODESTO, 2012). A fragmentação de habitats figura como uma das principais ameaças à biodiversidade ainda existente (PIRATELLI e FRANCISCO, 2013). Quando uma área contínua de habitat natural é fragmentada, essa área se transforma em fragmentos com diferentes formatos, qualidades ambientais e tamanhos, isolados e, na maioria das vezes, circundado por áreas antropizadas. Suas áreas de borda são maiores, tornando os fragmentos naturais mais vulneráveis à invasões de espécies exóticas, invasoras e expostas ao risco da urbanização crescente. Além disso, suas condições microambientais, físicas e ecológicas são afetadas, pois essas áreas naturais se tornam mais secas, quentes e expostas à ventos excessivos.

Uma resposta à situação recorrente de ecossistemas e paisagens fragmentadas é o conceito de corredores verdes. Sua maior contribuição é o reconhecimento de que existem interações e dependência espacial entre unidades de paisagem relativamente homogêneas, formando, assim um mosaico (LEITE, 2017). É observado que a conexão de elementos naturais propicia melhora e aumento de oferta dos serviços ecossistêmicos, tornando o ecossistema com maior capacidade de resiliência à pressão urbana desempenhada pelas cidades, cujos planejadores e tomadores de decisão, em sua maior parte, desconhecem o funcionamento e a importância do fornecimento de tais serviços. Há a necessidade de tornar as cidades um espaço seguro em relação às mudanças do clima por serem os locais que mais sentirão seus efeitos (AR5 - IPCC, 2014). Leite (2017) analisa que, na intenção de se buscar modelos urbanos mais amigáveis com o meio natural e com maior potencial de resiliência, é importante considerar estudos que sistematizem informações sobre o território em questão, sendo vital que esses estudos sejam capazes de selecionar áreas mais favoráveis à promoção da biodiversidade, que está relacionada diretamente ao aprimoramento da conectividade estrutural na região e à identificação do potencial natural que existe no local, fundamentados em um método analítico.

Nos últimos anos, pesquisadores têm investigado uma série de recursos e conceitos a fim de compreender como as cidades do século XXI devem ser projetadas, ou mesmo alteradas, considerando as questões ecológicas como peça-chave para a mudança de paradigma ainda existente em relação a arborização no planejamento urbano, se distanciando das concepções de embelezamento aplicadas nos séculos anteriores e considerando os indivíduos arbóreos e seus arranjos como ferramenta utilitária de planejamento urbano e modificação de microclimas urbanos. Os conceitos de Trama Verde Azul e Infraestrutura Verde se destacam por serem abrangentes às necessidades de adaptação urbana colocadas. São conceitos

similares e, por isso, é possível identificar certa confusão metodológica em determinadas bibliografias, porém há particularidades que precisam ser explicitadas a fim de diferenciar os conceitos, utilizar a nomenclatura correta e aprofundar os estudos de aplicação. O conceito de trama verde azul (TVA) foi desenvolvido em um cenário de renovação urbana na França fazendo parte de estratégias baseadas no desenvolvimento sustentável e na recuperação ambiental (OLIVEIRA e COSTA, 2018). A proposta de implementação de uma trama verde buscava consolidar os esforços de revitalização das paisagens e dos antigos espaços industriais franceses, além de gerir de maneira sustentável os espaços naturais e de lazer com o objetivo de valorizá-los e permitir a reapropriação pelos habitantes por meio da proteção da natureza, o desenvolvimento de lazers naturais e a ordenação do território (MBM-NPC<sup>2</sup>, 2010 *apud* OLIVEIRA e COSTA, 2018). Em 2010, foi adicionada à proposta de trama verde o adjetivo “azul” na nomenclatura, havendo algumas definições no conceito existente:

- A identificação de manchas e fragmentos de paisagem natural como “espaços de natureza e de lazer” ou áreas núcleo, sendo o principal elemento da TVA;
- O traçado de corredores ecológicos estruturais, os “pólos de lazer” e os itinerários de mobilidade suave;
- Áreas agrícolas ou naturais, chamadas de “zonas tampão” com objetivos de limitar a área de desenvolvimento do território, manter a atividade agrícola próxima às cidades, protegendo, ao mesmo tempo, o recurso hídrico subterrâneo e facilitar o deslocamento de animais.

A TVA foi difundida na França e ganhou importância política nacional como uma ferramenta de planejamento territorial. A partir de então o conceito tornou-se a ideia central das propostas de articulação da proteção da biodiversidade com o planejamento territorial, sendo reproduzida nas diversas escalas de ordenamento do território francês (OLIVEIRA e COSTA, 2018).

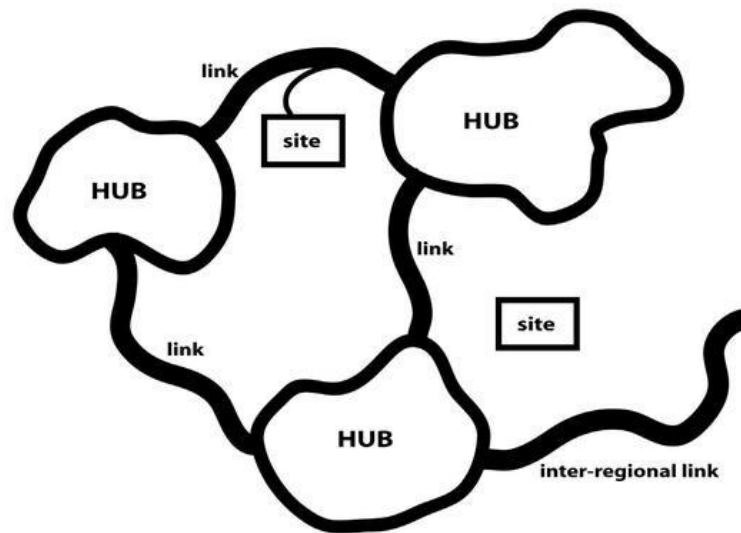
No tocante ao conceito de Infraestrutura Verde (IV), os autores Benedict e McMahon (2009) se destacam por ter popularizado o conceito e apresentar suas definições de forma estruturada. Diversas pesquisas recentes contam com sua bibliografia como base para definição e compreensão do conceito que se mostra complexo por contar com algumas abordagens e objetivos múltiplos. Para Benedict e McMahon (2009), a IV compreende uma rede interconectada de áreas naturais e outros espaços abertos que busca conservar os valores e funções do ecossistema natural, não somente para a preservação das áreas verdes, como também os possíveis impactos decorrentes do desenvolvimento urbano. Esta rede de conexões entre áreas

---

<sup>2</sup> MBM-NPC. Mission Bassin Minier Nord-Pas de Calais. La Trame Verte et Bleue du Bassin minier Nord-Pas de Calais. Set, 2010. Material informativo.

naturais é constituída por corredores verdes que têm a função de interligar essas áreas, servindo a usos múltiplos. De acordo com o esquema proposto pelos autores, podendo ser visto na Figura 2, as áreas verdes ou naturais chamadas de “hub” são conectadas por corredores verdes, os “links”. Áreas menores são chamadas de “sites” e, apesar de não formarem uma conectividade com as demais áreas, possuem grande importância para os valores ecológicos e sociais e também fazem parte da IV.

**Figura 2.** Rede de infraestrutura verde conectada por hubs, links e sites.



**Fonte:** Benedict e McMahon, 2009.

O conceito de IV é influenciado pela Biologia da Conservação e, especialmente, pela Ecologia da Paisagem, diferindo de abordagens mais convencionais ligadas à conservação da natureza por entender que a urbanização não precisa ser antagônica à natureza (BONZI, 2017). A IV pode ser uma resposta à necessidade de um meio de conservação inteligente para direcionar estrategicamente as práticas de conservação ambiental (BENEDICT e McMAHON, 2009), pois busca alinhar a necessidade da manutenção da biodiversidade com o desenvolvimento necessário às cidades. Além dos benefícios ecológicos que a IV urbana pretende proporcionar, o conceito incorporado ao planejamento urbano pode influenciar em melhorias econômicas, sociais e culturais para a cidade, pois tende a formar e desenvolver redes que podem ser usufruídas por ciclistas, pedestres e eventos que impulsionem o turismo local. Neste sentido, a infraestrutura verde urbana incluída nas diretrizes de ordenamento urbana pode induzir o padrão de desenvolvimento do território redirecionando a expansão urbana para áreas que sejam de maior interesse à qualidade de vida da cidade, resguardando assim, áreas de preservação ambiental que são frequentemente impactadas pelo avanço da especulação imobiliária.

Como introduzido por Davis (2017), em nível mais básico, a ideia da IV propõe incorporar funções estruturais às paisagens, sendo possível identificar raízes desse pensamento em meados do século XIX e início do século XX quando engenheiros sanitários e arquitetos paisagistas projetavam paisagens em grande escala como projetos de infraestrutura urbana, apoiando o crescimento das metrópoles industriais. Ainda segundo Davis (2017), apesar de ser um conceito que tem raízes no passado, a infraestrutura verde é original, pois tem seu foco em fenômenos mensuráveis e internalização de novos princípios ecológicos de adaptação e resiliência. Nas décadas de 80 e 90, aumentou o interesse global nos conceitos de planejamento de infraestrutura verde, *design* e aprimoramento de práticas de conservação da terra. As estratégias de conservação tornaram-se mais holísticas e abrangentes e as abordagens regulatórias deram lugar a abordagens não reguladoras, como gestão de ecossistemas, desenvolvimento sustentável e planejamento regional (BENEDICT e McMAHON, 2009). Havia um interesse crescente em encontrar um mecanismo para lidar com a complexidade da sustentabilidade e conservação da terra. Foi reconhecido que a preservação de áreas naturais isoladas não é suficiente - que as áreas naturais precisam ser conectadas nas escalas regional e paisagística para proteger a biodiversidade e os processos ecossistêmicos (BENEDICT e McMAHON, 2009). O conceito de IV começou a ser compreendido como uma ferramenta estratégica de conservação.

Nos Estados Unidos, as primeiras iniciativas foram no estado de Maryland com o planejamento de vias verdes, originando análises ecológicas e mapas de constituição de infraestrutura verde em nível estadual. O estado da Flórida também empreendeu uma importante iniciativa através da Comissão de Vias Verdes (*Greenways Comission* em inglês) e recomendando a criação de um sistema estadual de vias verdes, vinculando terras de conservação existentes e propostas, trilhas, espaços abertos urbanos e paisagens de trabalho privadas. Com isso, houve publicações de mapas gerados por SIG (Sistema de Informação Geográfica) representando redes ecológicas e recreativas em todo o estado. Juntamente com os esforços estaduais de Maryland e Flórida, um número crescente de regiões e comunidades norte-americanas, organizações não governamentais e governos locais começaram a realizar esforços de planejamento, projeto e implementação de infraestrutura verde. Algumas dessas iniciativas tiveram como objetivo proporcionar um crescimento urbano de forma mais estratégica, conservar os recursos naturais, incentivar a criação de áreas ecológicas recreativas, até mesmo evoluindo para movimentos populares reforçando a visão de comunidade local. Apesar de cada movimento ter um objetivo específico, em geral, todos reconheciam a importância do planejamento do uso da terra com base no valor da paisagem, além de fazer o melhor uso da terra, reservando terras para conservação antes que a ameaça de desenvolvimento desordenado seja iminente (BENEDICT e McMAHON, 2009).

A IV é adaptável aos objetivos que desejam ser alcançados em determinado território. Bonzi (2017) comenta que projetar a IV significa lidar com escalas tão diversas como a de um pequeno jardim de chuva até o planejamento de corredores ecológicos que conectam parques e reservas naturais. Além de multiescalar, o projeto de infraestrutura verde também é interescalar, pois, muitas vezes exige a articulação entre escalas. Bonzi ainda comenta que Yu (2006)<sup>3</sup> classifica o conceito de IV em três escalas. Na macroescala, a IV é uma paisagem regional desempenhando diversas funções. Na escala intermediária, ela deve ser integrada à estrutura interna da cidade, tornando-se um sistema de áreas verdes, desempenhando também diversas funções intraurbanas. Já a IV na pequena escala define a estrutura física do desenvolvimento urbano e também pode ser usada para guiar projeto de lotes.

Diversos são os desafios encontrados na aplicação do conceito de IV. O termo “infraestrutura verde” faz analogia ao termo “infraestrutura” na construção civil que abrange toda a rede física de suporte às atividades humanas em larga escala (PELLEGRINO, 2017). Considerando que a IV é uma tipologia de infraestrutura assim como as demais existentes nas cidades, é preciso pensar na forma que elas irão se relacionar para potencializar o desempenho de cada uma. É de grande relevância que a inserção da IV no contexto urbano tenha em vista a infraestrutura existente, além do comprometimento de governos, pois esse é um trabalho de longo prazo (FRANCO, 2010). É observado que a IV necessita ser melhor entendida para facilitar sua aplicação, principalmente em cidades adensadas. (BUCHALA, SILVA e ASSIS, 2018).

Há lacunas na compreensão do conceito de IV. É possível encontrar estudos e pesquisas onde a IV é facilmente confundida com outros conceitos como a TVA e com estratégias como Corredores Verdes ou Ecológicos e Desenho Urbano Sensível à Água (*WSUD* em inglês). A confusão entre conceitos se deve muito pelo fato de que eles se assemelham na busca por modificar os núcleos urbanos através do desenvolvimento sustentável, priorização da oferta de serviços ecossistêmicos e biodiversidade a fim de aumentar o conforto ambiental das pessoas e de enfrentar os efeitos das mudanças do clima. É importante ressaltar que mesmo com suas similaridades, cada conceito ou estratégia tem sua particularidade. Benedict e McMahon (2009) comentam que embora as iniciativas de infraestrutura verde geralmente comecem com os esforços de vias ou corredores verdes, existem algumas diferenças importantes. A infraestrutura verde difere das vias verdes de três maneiras principais:

- Infraestrutura verde enfatiza ecologia, não somente a recreação;

---

<sup>3</sup> Yu, Kongjian e Padua e Maria. *The Art of Survival – Recovering Landscape Architecture*. The Images Publishing Group Pty, Victoria, 2006.

- A infraestrutura verde inclui *hubs* ecologicamente importantes, bem como importantes vínculos paisagísticos;
- A infraestrutura verde pode ser projetada para moldar a forma urbana e fornecer uma estrutura para o crescimento - uma estrutura que pode pré-identificar terras ecologicamente significativas e áreas de desenvolvimento adequadas.

Schutzer (2014) comenta que o conceito de infraestrutura verde deve estar nas análises de planejamento urbano, pelo fato de se mostrar eficaz em ações de mitigação, adaptação e aumento de resiliência do ambiente urbano, porém há algumas lacunas em sua conceituação, principalmente em sua compreensão e aplicação metodológica. É observado que a IV é um conceito abrangente a diversas áreas do conhecimento (urbano, social, econômico, biológico, climático) e sua temática ainda é tratada de forma muito fragmentada, pois sociedade, corpo técnico e gestores públicos ainda estão atrelados a concepções de uma estrutura organizacional tradicional de produção do espaço urbano, onde o meio ambiente é visto em segundo plano em relação a infraestrutura tradicional que é necessária para o desenvolvimento de uma cidade, como saneamento, energia elétrica, malha viária, dentre outros. Além do que, é preciso ter cautela quando se fala em sua aplicação, para que o conceito de IV, que se mostra muito eficaz aos efeitos das mudanças climáticas não se torne uma “receita mágica”, desconsiderando a tipologia urbana, seus usos e as questões ambientais próprias em determinado local. Se faz necessário incentivar os debates interdisciplinares com atores técnicos e das comunidades que compõem a sociedade, a fim de fomentar discussões mais qualificadas sobre a ocupação e o ordenamento do solo urbano.

Desafios são percebidos nas pesquisas da comunidade científica internacional em relação ao conceito de IV e sua investigação. Uma temática que vem sendo muito discutida está relacionada com um desenho urbano sensível à água e o gerenciamento em áreas urbanas com a utilização de tipologias de IV em comparação com as infraestruturas convencionais (EATON, 2018; LI *et al*, 2019). Parte dos estudos atuais envolvem investigações acerca da vegetação e, mais precisamente, da arborização urbana de grande porte. Nos últimos anos, tornou-se bem estabelecido que as árvores são elementos eficazes para a redução do aquecimento urbano e dos efeitos das ilhas de calor. Analisando as pesquisas apresentadas na 10th *International Conference on Urban Climate* (ICUC, 2018), boa parte das pesquisas relevantes sobre arborização ainda permeiam essa temática (MUSSETTI *et al*, 2018; MUNCK *et al*, 2018; RAVEN e LEONE, 2018) objetivando afirmar os benefícios ao clima desempenhados pela arborização e de investir em modelagens de alta resolução. São pesquisas que se mostram relevantes, porém não avançam na investigação da infraestrutura verde como conceito e gestão territorial. Fujiwara *et al* (2018) se aproxima da IV investigando a otimização do arranjo de árvores para mitigação de calor. É interessante destacar o estudo de

Amorim *et al* (2018) que investiga a IV como forma de gestão territorial a partir de modelagem e simulação com diferentes níveis de arborização para a cidade de Estocolmo, Suécia, objetivando quantificar as mudanças na temperatura do ar interurbano resultantes do planejamento urbano e das coberturas verdes. Os autores utilizam três cenários: um primeiro cenário previsto pela municipalidade com a construção de 140 mil habitações, um segundo cenário “verde” com o aumento de áreas verdes, incluindo tipologias de telhados verdes nas edificações, e um terceiro cenário “cinza” com o aumento da densificação urbana.

Pesquisas brasileiras recentes buscam compreender a arborização viária em um contexto urbano de clima tropical. Mascarello, Barbosa e Assis (2017) concluíram que a arborização urbana viária influencia positivamente ao conforto térmico urbano e que seu agrupamento intensifica o potencial termorregulador das árvores. Através de medições *in loco* foi percebido que onde há a presença de árvores, há ligeiro aumento na umidade relativa do ar. A poda dos espécimes foi um fator influenciador no sombreamento e, consequentemente no conforto térmico. Foi percebido que a umidade absoluta não foi grandemente modificada nas áreas com e sem arborização, apontando para um possível estresse térmico, onde o indivíduo arbóreo busca preservar seu equilíbrio, contribuindo apenas com uma pequena parcela de umidade para o meio externo. Em seu estudo, Duarte (2010) indica que, do ponto de vista do conforto humano, parques arborizados de dimensões menores, porém em maior número presente na malha urbana, são capazes de ter uma influência maior no microclima do que apenas um parque centralizado e Emmanuel<sup>4</sup> (2005 *apud* Duarte, 2010) afirma que grandes elementos modificadores do clima como grandes parques ou lagos tem pouca influência se não são tratados em sua microescala. Franco (2010) estuda a constituição de uma IV na cidade de São Paulo aproveitando áreas verde já existentes e realizando conexões por meio de arborização ou vias de mobilidade limpa como ciclovias. A autora concluiu que o Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos mostra-se extremamente apto à aplicabilidade do conceito de IV pelo fato da região analisada contar com fatores ecossociais como a necessidade de recuperação ambiental e a “reconquista das várzeas” do rio Pinheiros com o uso das várzeas pela população paulistana, se tratando de um local de íntima relação com a história da cidade. A autora acredita que seu estudo pode criar uma demanda política, caso ele seja apropriado pela população objetivando sua real implementação.

Desafios são encontrados no cenário brasileiro. Quando discutidas temáticas abrangentes à sociedade, no contexto geral, como o caso de políticas públicas e a gestão do território urbano, vê-se a necessidade da inclusão de “novos” atores até então não considerados no planejamento urbano tradicional, principalmente no

---

<sup>4</sup> EMMANUEL, M. R. An Urban Approach to Climate-Sensitive Design. Strategies for the tropics. New York: Spon Press, 2005.

cenário das cidades brasileiras que são muito distintas das grandes potências internacionais tanto por seu clima e biodiversidade natural como pela história de ocupação do território, o que impacta diretamente na cultura de uso do solo urbano.

Ao mesmo tempo, são percebidas algumas lacunas de conhecimento. Estudos recentes reconhecem os benefícios da arborização viária no microclima urbano, porém ainda é escassa a investigação do arranjo estratégico dos indivíduos arbóreos na malha urbana a fim de desempenhar maior influência no balanço de energia das cidades. Por ser uma temática de grande relevância, é percebido que poucas pesquisas brasileiras objetivam investigar o conceito de IV e uma quantidade menor ainda busca ultrapassar a fronteira teórica do conceito a fim de estudar sua aplicação em cidades brasileiras. Schutzer (2014) comenta sobre as confusões metodológicas ocorrentes e como isso dificulta uma discussão para aprimorar a questão. A IV é abordada, em algumas pesquisas, de forma simplória como sendo apenas uma ferramenta ou somente algo contrário à infraestrutura cinza. O conceito é complexo e precisa ser compreendido corretamente para que, na prática, possa desempenhar os benefícios esperados, tanto para a malha urbana quanto para o microclima urbano.

Estudos sobre a climatologia urbana, balanço de energia e sua interação com o planejamento e desenho das cidades tem crescido no Brasil, acompanhando a comunidade científica internacional e a evolução do debate relacionado à adaptação e aumento da capacidade de resiliência das cidades, porém segundo Assis (2005), grande parte desses estudos ainda são teóricos ou com poucas recomendações claras de ações para as políticas urbanas construídas pelos planejadores e tomadores de decisão.

Percebe-se uma crescente investigação de metodologias que trabalham com diversos critérios e variáveis a fim de analisar as problemáticas urbanas e conseguir desenvolver recomendações menos generalistas. A análise multicritério compõe estudos e legislações de países europeus, como a Alemanha, assim como estudos de gerenciamento territorial, principalmente por pesquisadores que trabalham com ferramentas de geoprocessamento e SIG. É percebido um interesse de pesquisadores brasileiros em compreender a análise multicritério a fim de identificar os benefícios que ela pode desempenhar na produção de cidades de clima tropical.

## **2.5 Análise multicritérios e sua aplicação no meio urbano**

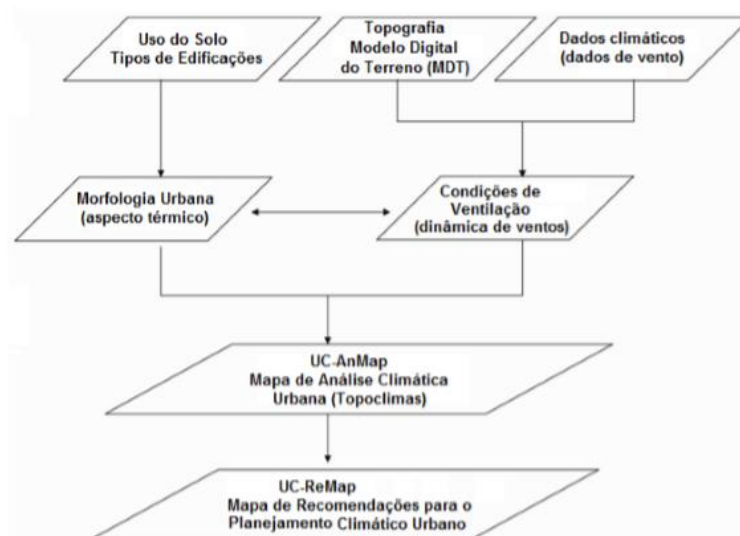
A análise multicritério pode ser definida como um conjunto de métodos de apoio à tomada de decisão em que dois ou mais critérios são considerados simultaneamente e de forma explícita (CAMPOLINA *et al*, 2017). Esse tipo de análise é apropriado para questões que envolvem múltiplas decisões encadeadas ou diferentes conhecimentos, como é o caso de temáticas com abordagens multidisciplinares.



É percebido que diversos estudos recentes estão investigando soluções para as problemáticas urbanas através da análise multicritério, pelo fato de que os assuntos envolveres ao ambiente urbano são compreendidos como complexos e abrangentes à diversos atores participantes e disciplinas do conhecimento. Moura (2007) comenta que o procedimento de análise de multicritérios é muito utilizado na análise espacial de gestão territorial por se basear na lógica básica da construção de um modelo SIG, pois seleciona as principais variáveis de um fenômeno, representa a realidade conforme diferentes variáveis, promove combinação das camadas de dados e variáveis e possibilita a validação e calibração do modelo construído.

Jales, Silva e Vasconcelos (2013) investigam a análise multicritério para a identificação de sub-bacias hidrográficas na cidade de Brumadinho/MG com maior potencial para a implementação de um projeto de pagamento por utilização de serviços ecossistêmicos. Segundo os autores, a metodologia possibilitou a geração de um mapa síntese da caracterização ambiental, sendo um importante instrumento para a tomada de decisão dos gestores do projeto em questão. Além dos resultados obtidos, Jales, Silva e Vasconcelos (2013) comentam que o modelo de análise construído no estudo pode ser aplicável em regiões diferentes da analisada, desde que seja criado um novo banco de dados, critérios e pesos condizentes com o novo objeto de estudo.

Buchala, Silva e Assis (2018) comentam sobre a experiência do planejamento urbano alemão. Diante do objetivo de organizar a informação sobre os fatores atmosféricos e geográficos do clima numa plataforma interdisciplinar de colaboração entre climatologistas e planejadores (ASSIS *et al*, 2015, REN, YAN-YUNG, KATZSCHNER, 2011), foi desenvolvido, no final da década de 70, o conceito de *Urban Climate Map* (UCMap). Desde então foi aprimorado ao uso no planejamento urbano e consolidado por normativas alemãs nos anos de 2008 e 2011 (ASSIS *et al*, 2015). O conceito de mapeamento climático foi elaborado através da utilização e sobreposição de uma série de dados de entrada relevantes à análise, divididos em camadas (ou *layers*), assim como no esquema visto na Figura 3.

**Figura 3.** Estrutura do UCMaP

**Fonte:** Assis *et al* (2015).

Conforme Ren, Yan-Yung e Katzschner, (2011), as camadas básicas de entrada ao modelo contêm mapas de dados meteorológicos, dados geográficos do terreno analisado, informações sobre vegetação e parâmetros de planejamento urbano. Ren, Yan-Yung e Katzschner, (2011) comentam que dois mapas de análise são componentes principais do UCMaP. O primeiro componente é o UC-AnMap, que visualiza e espacializa as várias avaliações climáticas. Ele pode analisar o clima urbano em escala meso e microclimática (escalas regional e da cidade ou local, respectivamente), integrando as informações de *input*. A partir de análises, as áreas com climas semelhantes são agrupadas em zonas para apresentar a sensibilidade de certas regiões afetadas por mudanças no uso da terra. O segundo componente é o UC-ReMap, que inclui instruções de planejamento do ponto de vista climático urbano. O UC-ReMap apresenta as zonas desenvolvidas no mapa anterior contando com recomendações que deverão ser seguidas para cada uma (zona com maior necessidade de conservação, zona relevante à manutenção do clima local, etc). Dessa forma, é possível identificar as zonas mais sensíveis que serão prioridade em ações de investimento e de políticas públicas.

Ren, Yan-Yung e Katzschner (2011) consideram que os mapas gerados podem ser ferramentas visuais significativas e de fácil compreensão para os diversos atores atuantes na produção das cidades (municipalidade, sociedade, empreendedores), além de que as informações resultantes da análise podem ser recomendações implementadas em legislações de zoneamento e diretrizes práticas de desenvolvimento das cidades.

No Brasil, alguns grupos de pesquisadores estudam a aplicação do conceito do UCMaP buscando compreender como a metodologia poderia ser aplicada para cidades tropicais. Ferreira, Assis e Katzschner (2017) buscaram construir um mapa

climático analítico para a cidade de Belo Horizonte/MG. Com a análise da carga térmica superficial da cidade, Ferreira, Assis e Katzschner (2017) obtiveram resultados a fim de basear recomendações para a melhoria do clima local da cidade. Os autores concluíram que apesar dos desafios encontrados para elaborar a classificação de pesos das variáveis utilizadas, o estudo foi satisfatório pela geração de resultados relevantes e pela facilidade de aperfeiçoamento dos mapas temáticos desenvolvidos.

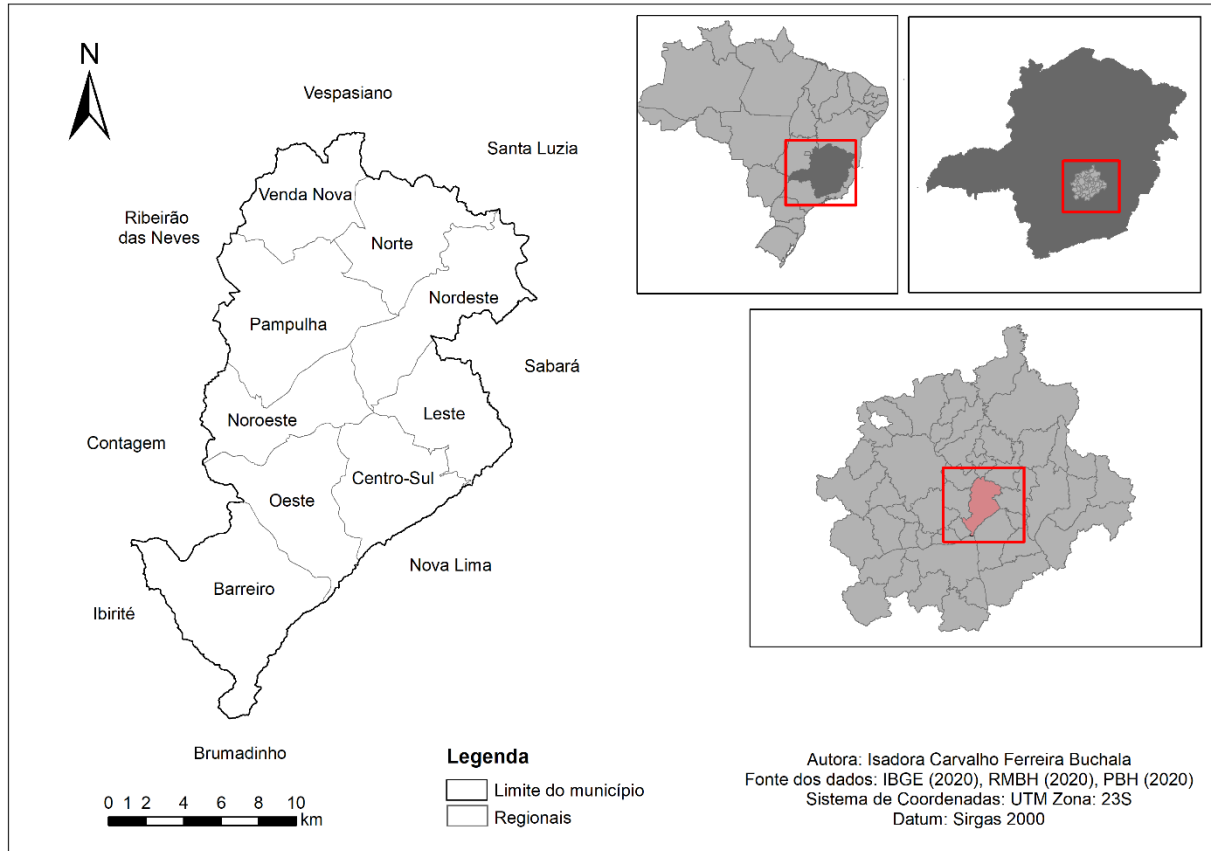
Por meio da busca por estudos e autores relevantes à temática aqui tratada, é possível observar que a ciência se aproxima cada vez mais das problemáticas vivenciadas nas cidades do século XXI. As mudanças do clima e a preocupação com seus efeitos negativos para as cidades e suas comunidades fazem com que suscitem pesquisas sobre conceitos já existentes, porém até então pouco relacionados com a urbanização dos territórios. É observada uma tendência de crescimento em estudos relacionados às discussões sobre biodiversidade, serviços ecossistêmicos, conceitos como Trama Verde Azul e Infraestrutura Verde, além da utilização de metodologias de análise multicritério. A literatura aqui relacionada é de grande importância à este estudo para contextualizar o conhecimento existente, sendo por meio de pesquisas internacionais ou brasileiras. Verificando as lacunas ainda existentes, é identificado o ponto de partida da investigação proposta, a fim de ser realizado um estudo útil para a comunidade científica e para a gestão do território urbano em cidades brasileiras.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – O MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE/MG**

Foi determinado um estudo de caso a fim de desenvolver um modelo de análise multicritérios contando com dados georreferenciados, variáveis e critérios de um cenário real, podendo resultar em diretrizes com capacidade de fornecer orientações menos generalistas, agregando valor às estratégias de aumento de resiliência urbana e inserção da infraestrutura verde na cidade.

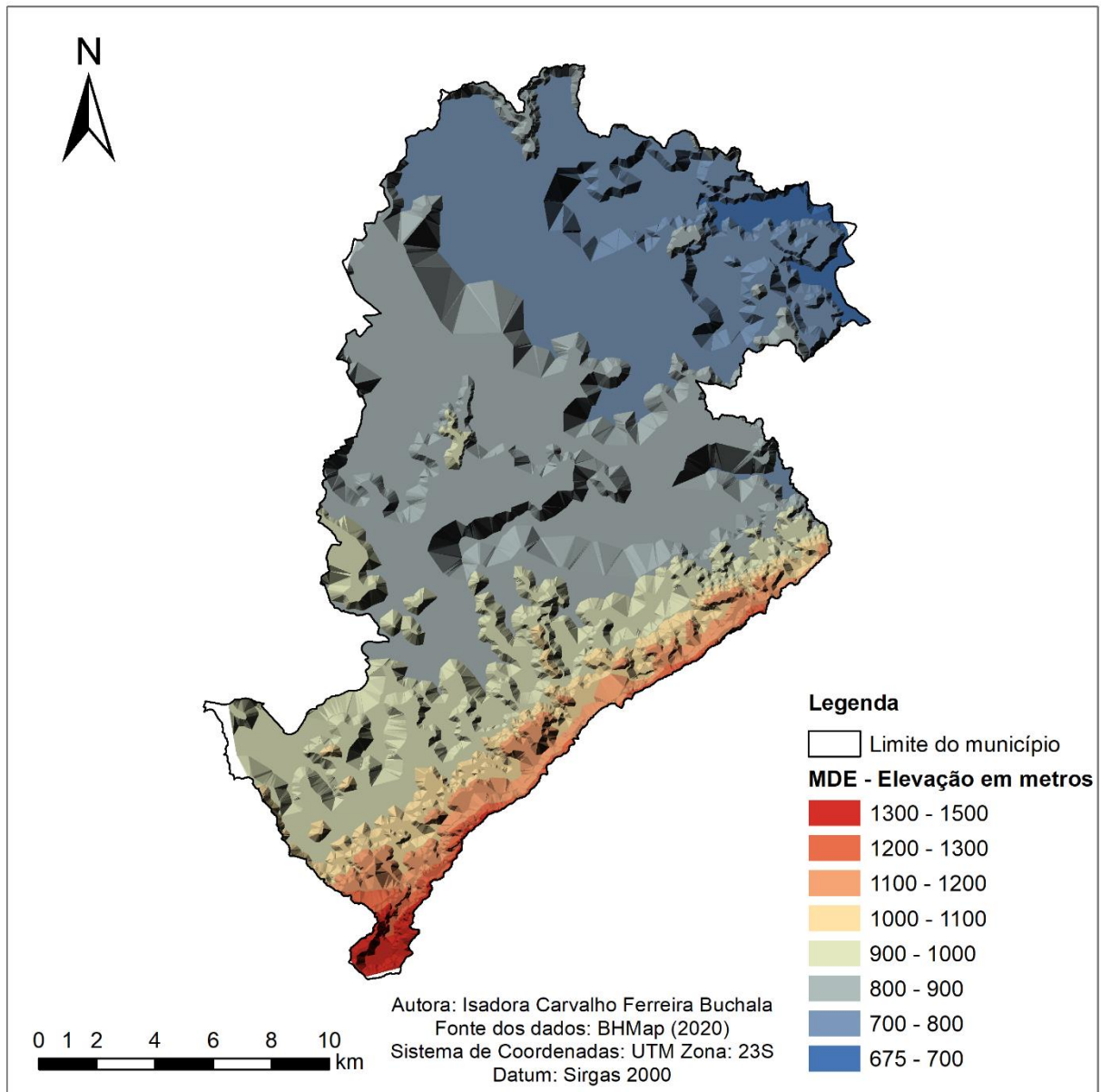
Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, está localizada no sudeste brasileiro sendo delimitada pelas latitudes 19°46'35" e 20°03'34" Sul e 43°51'27" e 44°03'47" Oeste de Greenwich. O município faz parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte sendo o principal município dos 34 integrantes da RMBH. A área total do município corresponde a 331,401 km<sup>2</sup> estando delimitada por 8 municípios vizinhos, como visto em Figura 4. A população estimada em 2021 pelo IBGE de 2.530,701 habitantes havendo uma densidade demográfica estimada de 7.580,00 hab/km<sup>2</sup>. Belo Horizonte conta com 487 bairros sendo eles divididos em nove regiões administrativas a fim de facilitar as demandas específicas de cada região e definir ações específicas nas áreas de saúde, educação, esporte e lazer (PBH, 2018).

**Figura 4.** Localização do município de Belo Horizonte e regionais administrativas



Em relação a altitude, a cidade está a 852 metros do nível do mar em média, porém é possível identificar grandes diferenças em seu tecido urbano. O bairro Mangabeiras, situado na regional Centro-Sul e próximo à Serra do Curral, está a 1.400 metros do nível do mar enquanto o bairro Capitão Eduardo, na regional Nordeste, conta com 673 metros de altitude, havendo diferença de altimetria de mais de 700 metros (PBH, 2017). A maior parte de Belo Horizonte encontra-se numa região de vertentes pouco inclinadas e altitudes variando entre 800m e 900m. Ao Sul é observado um extenso alinhamento de cristas da Serra do Curral, fazendo parte do conjunto de elevações do Quadrilátero Ferrífero, visto em Figura 5. Essas elevações funcionam como barreiras orográficas na passagem de massas de ar, influenciando as condições climáticas da cidade (ASSIS, 2010).

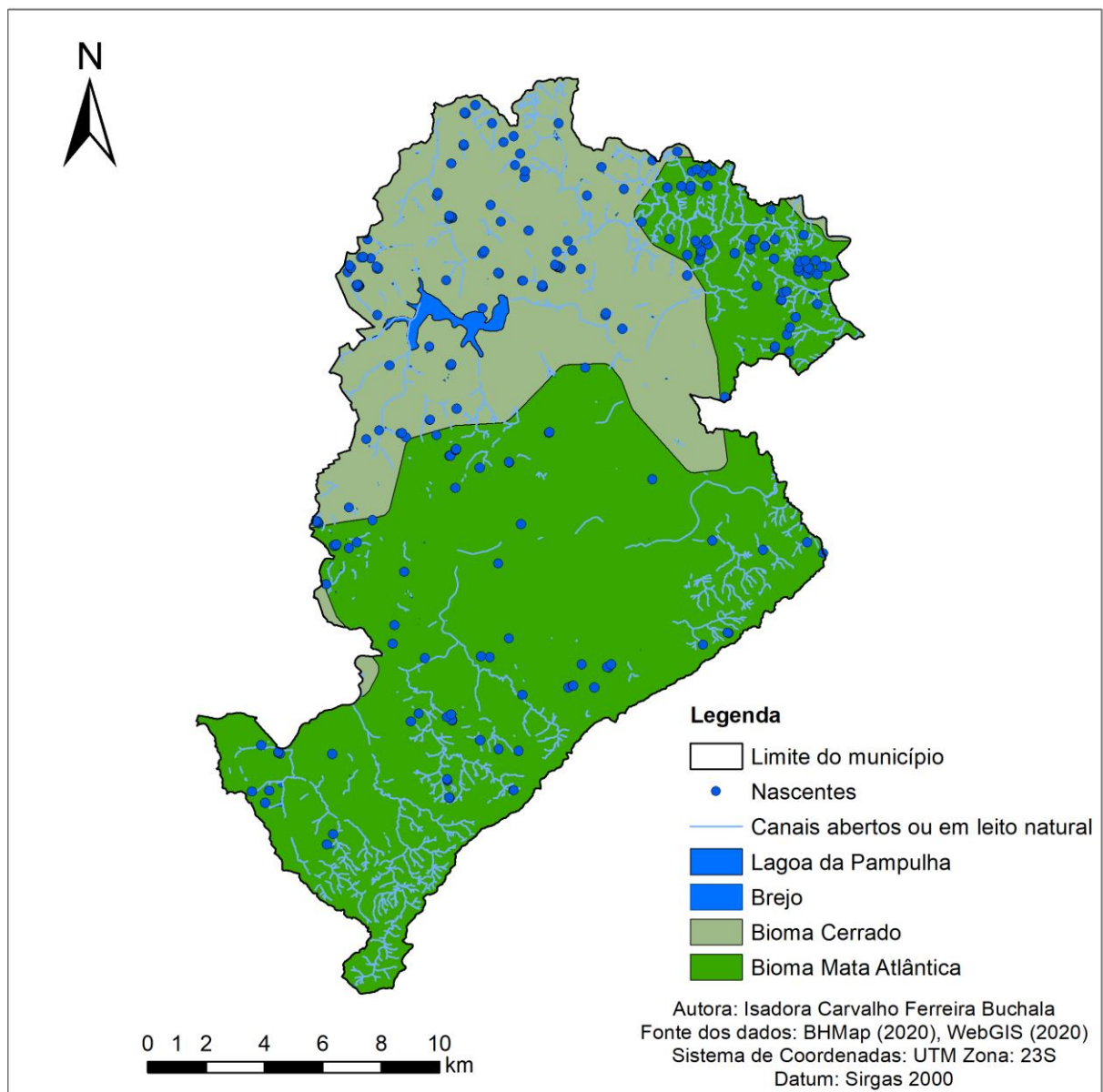
**Figura 5.** Modelo digital de elevação do município de Belo Horizonte



Do ponto de vista da vegetação nativa em Belo Horizonte, o município está inserido na faixa de transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, sendo rica a variedade de espécies encontradas (FIGURA 6). Possui espécies de porte arbóreo, arbustivo e herbáceo, além de vestígios de campos rupestres em porções da Serra do Curral (ASSIS, 2010). Entretanto, a maior parte da vegetação natural foi suprimida pela urbanização. Ademais, podem ser encontradas áreas úmidas no território, sendo elas localizadas em parques municipais urbanos (FERREIRA e JÚNIOR, 2018). Belo Horizonte é rica, igualmente, em oferta de recursos hídricos. O município está localizado na margem esquerda do Rio das Velhas, curso de importância regional e afluente do Rio São Francisco. Duas bacias hidrográficas fazem parte da hidrografia da cidade, a bacia do Ribeirão Arrudas e a bacia do Ribeirão do Onça. Inúmeros cursos d'água foram canalizados, se tornando avenidas de importante fluxo para a

mobilidade da cidade. Como pode ser visto na Figura 6, há alguns cursos d'água estão em canais revestidos abertos e outra porção está em leito natural. Além disso, há a presença de muitas nascentes no tecido urbano. Algumas delas estão protegidas por estarem localizadas em parques municipais. Há outra porção de nascentes que está localizada em locais periféricos de urbanização sendo utilizadas para o abastecimento de moradores locais, porém sem a proteção ambiental necessária.

**Figura 6.** Vegetação natural e hidrografia de Belo Horizonte



O clima de Belo Horizonte é classificado como tropical de altitude, categoria subquente semiúmido. O verão é responsável pelas maiores temperaturas médias e o inverno, por temperaturas mais amenas. Sobre a pluviosidade, os meses de dezembro e janeiro são os mais chuvosos e o período de maio a agosto, o mais

seco do ano. A dinâmica climática de BH está intimamente relacionada com as regiões de alta e baixa pressão que dão origem aos fluxos de vento predominantes. A presença da Serra do Curral também influencia nessa dinâmica, pois é uma barreira orográfica. Assim, a direção dos ventos é modificada fazendo com que a ocorrência de chuvas e intensidade dos ventos que influenciam a cidade seja um pouco diferente ao observado no município de Nova Lima, limítrofe a Belo Horizonte, porém localizado do outro lado da Serra do Curral.

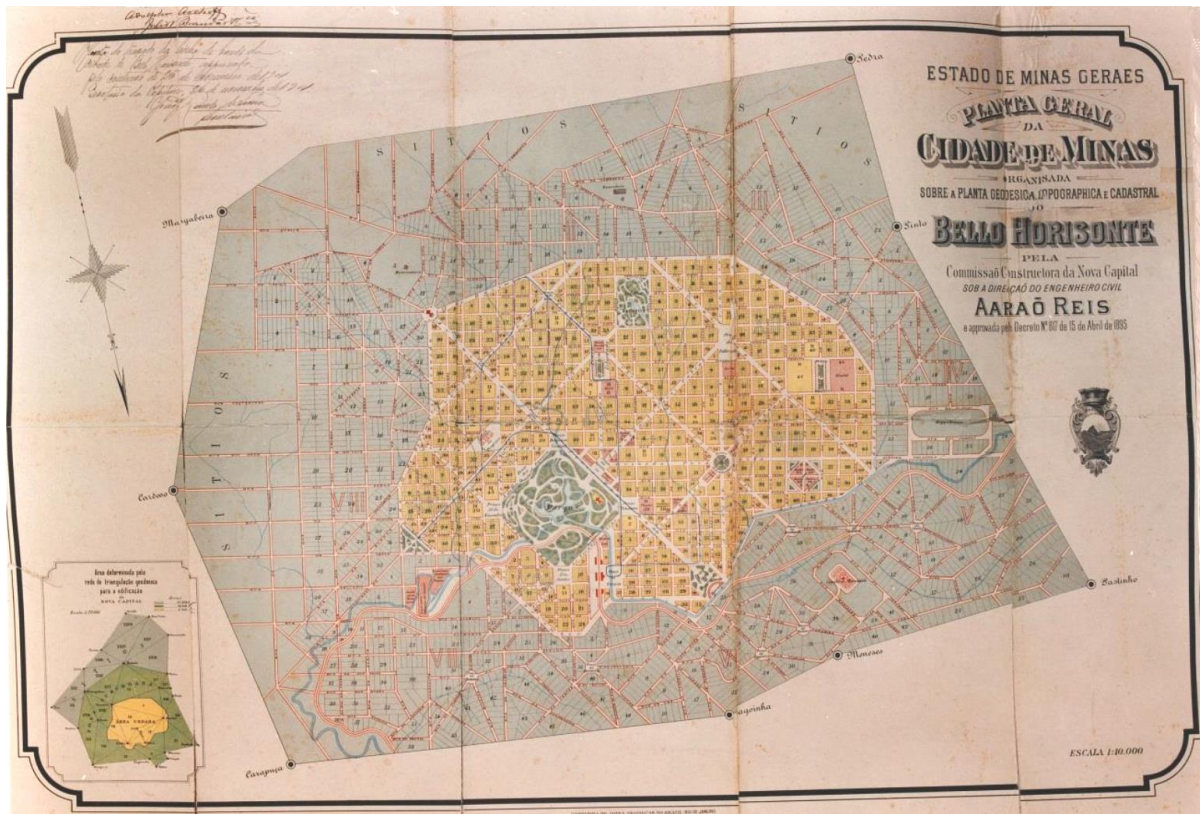
Belo Horizonte é considerada a primeira cidade planejada no Brasil moderno. A cidade foi projetada para ser a nova capital do estado de Minas Gerais, que anteriormente era a cidade de Ouro Preto. A mudança da capital foi um veículo para a instauração da ideologia da República, recém instaurada no país (DE MARCO, 2020). Sendo assim, a nova capital precisava simbolizar o rompimento completo com o modelo colonial de ocupação e gestão do território. Após estudos locais e negociações políticas, foi determinado que a nova capital seria construída no território do arraial de Bello Horizonte, antigo Curral del Rey. A região do arraial era um sítio tipicamente rural com lavouras e criação de animais para venda. As fazendas que até então compunham o arraial foram desapropriadas para abrigar a nova cidade. Antes de ser planejada a nova capital, a Comissão Construtora da Nova Capital – CCNC foi responsável por fazer levantamentos detalhados do território entre os anos de 1893 e 1895 (BORSAGLI, 2019).

Influenciados por conceitos europeus e nas reformas realizadas em Paris, na França, e em Washington, nos Estados Unidos, a CCNC desenvolveu o projeto da nova cidade. Para Aarão Reis, engenheiro-chefe da Comissão, a nova capital, apelidada de “Cidade de Minas”, deveria ser símbolo da modernidade, da República e da natureza dominada pelo planejamento urbano (DE MARCO, 2020). O projeto desconsidera a geografia local, os diversos cursos d’água presentes, da mesma forma que desconsidera toda a ocupação urbana constituída do arraial Curral Del Rey (SALGUEIRO, 1995). Basicamente, a planta geral da Cidade de Minas, visto em Figura 7, é apresentada por meio de linhas ortogonais e hierarquizadas, deixando claro que na nova capital tudo é muito organizado, controlado e classificado. As avenidas largas e monumentais do centro urbano atendiam necessidades estéticas urbanas, higienistas e de segregação, pois a insalubridade, na época, era comumente associada às classes mais pobres. A área destinada à ocupação urbana está representada no Plano Geral como a região amarela sendo nomeada como zona urbana. É a principal zona de todo o plano de implementação de Belo Horizonte. Na zona urbana seria implantada toda a infraestrutura de transportes e comércio. Para separar a zona urbana das demais, foi planejada a avenida 17 de Dezembro (atual Avenida do Contorno), um boulevard que circunda toda a região. Ao redor, há a zona suburbana, região simbolizada no Plano Geral pela cor verde. Ela seria uma região com um traçado mais orgânico destinada a ser uma zona de



transição entre a porção urbana e à rural. Essa segunda zona estaria envolvida por uma terceira região reservada à sítios de pequenas lavouras que seriam responsáveis por abastecer a zona urbana.

**Figura 7.** Planta geral da Cidade de Minas



**Fonte:** De Marco, 2020.

Saturnino de Brito, engenheiro civil que também compunha a CCNC, chegou a propor um traçado mais orgânico para a cidade, porém sua proposta não alcançou a aprovação da Comissão. Para Saturnino, o Plano Geral deveria levar em conta a composição da paisagem obedecendo a topografia, a hidrografia e a vegetação, sendo eles os elementos estruturadores do espaço urbano (FARIA, 2015).

Belo Horizonte foi construída em três anos e inaugurada no ano de 1897, porém nas primeiras décadas de existência da nova capital, a cidade ainda tinha fortes ares interioranos, apesar de ser o centro do poder do Estado (BORSAGLI, 2019). A ruralidade ainda era muito presente no cotidiano da cidade, pois muitas terras que haviam sido desapropriadas pela CCNC ainda não estavam urbanizadas, tanto pela falta de recursos quanto pela escassez de população residente. Os hábitos dos novos moradores também influenciaram na ocupação de Belo Horizonte, pois eram modos diferentes de habitar que geravam hábitos urbanos diferentes do planejado (DE MARCO, 2020). As apropriações e referências europeias presentes no planejamento urbano, como os boulevards parisienses por exemplo, não respondiam a uma necessidade da população local. Até mesmo a presença de arborização viária



não era vista com bons olhos. As casas da época, em sua maioria, tinham apenas um pavimento, afastamentos e jardim frontal, fazendo com que a fachada e seus detalhes arquitetônicos ficassem escondidos pela vegetação presente. A presença de vegetação de porte arbóreo no interior dos lotes e a ocupação urbana lenta em algumas regiões da cidade contribuíram para que o cidadão local tivesse a sensação de que não era preciso ter árvores nos logradouros (DE MARCO, 2020). Diversos espaços de uso público foram modificados ou sequer foram implementados. Uma das áreas verdes mais expressivas da cidade, o Parque Municipal, foi implementado, porém com somente um terço da área prevista. O Jardim Zoológico que estava previsto no Plano Geral nem chegou a ser implantado, sendo a área reparcelada e parte dela destinada a um clube esportivo.

No Plano Geral, a ocupação de habitantes era incentivada a acontecer da zona urbana para fora para que assim, todos os lotes fossem vendidos e ocupados antes de haver expansão para as demais regiões. Porém a ocupação ocorreu exatamente no sentido inverso. Pelo fato de os lotes da zona urbana serem muito caros e de haver um período determinado para ser feita a construção dos edifícios, as pessoas que se interessavam em fixar residência na cidade ocupavam regiões periféricas. Ao mesmo tempo, os incentivos financeiros do Estado para as áreas agrícolas e colônias não ocorreram, sendo elas liberadas da obrigatoriedade de produção e incorporadas à zona suburbana no ano de 1910. Ocupações urbanas mais distantes foram incorporadas ao território de Belo Horizonte sem organização morfológica, aumentando os problemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Além disso, a CCNC previa que a cidade alcançaria a marca de 100 mil habitantes apenas quando completasse 100 anos, em 1997, porém em 1920 a cidade já contava com 120 mil habitantes. A cidade que teve um início quase que administrativo precisou se reinventar conforme sua história de ocupação. Observando o contraste cada vez mais existente entre a região da Zona Urbana prevista pela CCNC do restante do município, Belo Horizonte é compreendida como paradoxal (DE MARCO, 2020). Durante a história de desenvolvimento da capital mineira houve iniciativas de regulamentação do território a fim de resgatar o conceito de “cidade-jardim” que buscava ser implementado pela CCNC, não só na Zona Urbana, mas nas demais regiões ocupadas. Algumas iniciativas relevantes no âmbito da arborização urbana podem ser conferidas em um breve histórico presente na Quadro 3.

**Quadro 3.** Breve histórico de políticas públicas de arborização urbana

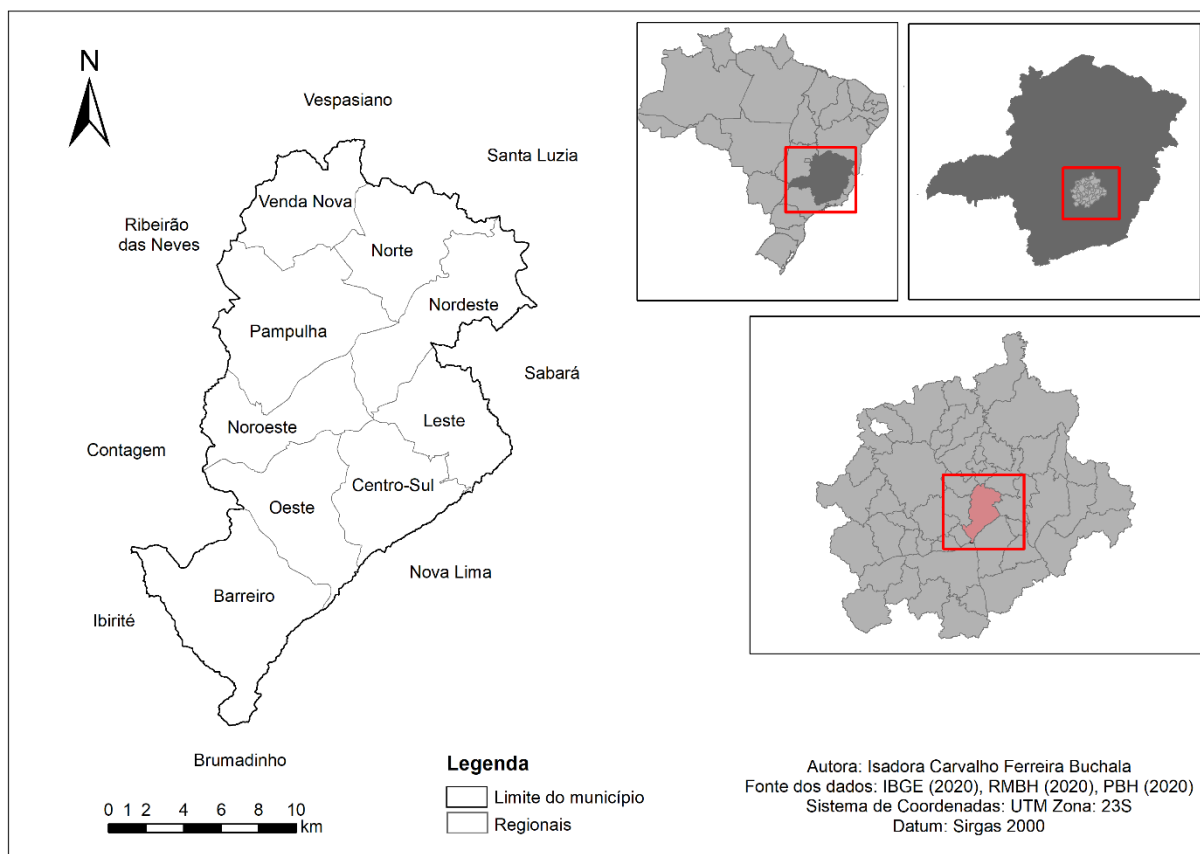
| <b>Época</b>          | <b>Acontecimento</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Relevância</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Década de 1920</b> | As atividades iniciais de arborização na cidade começaram com a criação de um berçário de mudas no Parque Municipal, porém essa atividade não teve continuidade até a década de 1920, quando foi criado o Horto Florestal.                                                                                                       | O Horto florestal tinha como objetivo disponibilizar mudas para o plantio de vegetação na cidade.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Ano de 1935</b>    | Prefeitura publica Decreto que exigia a presença de arborização nos passeios e calçadas sendo elas de responsabilidade do proprietário/loteador do terreno. No caso de loteamentos populares e vilas a Prefeitura seria a responsável pelas mudas. A arborização viária foi incluída como infraestrutura para novos loteamentos. | Antes do Decreto, a Prefeitura era responsável por todas as infraestruturas, inclusive pela arborização viária. Com o plantio sendo feito pelos proprietários, novas espécies acabaram sendo introduzidas na cidade e o passeio, se tornando uma extensão do jardim frontal das residências. Pela primeira vez há a diferenciação de cidade formal e informal. |
| <b>Década de 1940</b> | Decreto-lei que possibilita a ausência de afastamento frontal em edificações comerciais, eliminando o jardim frontal e fazendo com que sucessivas podas ocorressem para que as árvores crescessem no sentido da rua, não no sentido do prédio que estava encostado no limite do terreno.                                         | Esse decreto acabou influenciando regiões mais vegetadas, como as áreas suburbanas e ex-colônias que tomaram as mesmas decisões construtivas. A relação entre árvores e edifícios se tornou conflituosa.                                                                                                                                                       |

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Década de 1950</b> | Juscelino Kubitschek como prefeito de Belo Horizonte percebeu que o represamento do ribeirão Pampulha tinha potencialidade de uso para atividades de esporte, lazer e turismo, tornando essa sua meta de governo.                                                                                                                             | Atualmente a Pampulha é o Conjunto Moderno da Pampulha sendo reconhecida pela UNESCO como Patrimônio Cultural da Humanidade contando com edifícios projetados pelo arquiteto Oscar Niemeyer e com paisagismo de Roberto Burle Marx. |
|                       | Em 1951, houve a criação do Departamento de Parques, Jardins e Arborização. Nesse mesmo ano foi criada uma Campanha Educativa de Proteção de Árvores em conjunto com um plano de expansão e reforma da cidade.                                                                                                                                | A reforma da cidade buscava estender o título de cidade-jardim para além do perímetro original do plano da CCNC, numa tentativa de conter a extinção da área vegetada ao redor.                                                     |
|                       | Ao mesmo tempo que a Prefeitura buscava conter o intenso desmatamento no município, ela foi responsável por retirar dezenas de árvores da avenida Afonso Pena. A retirada das espécies foi necessária para a substituição dos bondes por trólebus, pois eles tinham uma infraestrutura aérea de cabos.                                        | A vegetação existente na avenida Afonso Pena era bastante expressiva sendo um dos cartões-postais da cidade. Segundo alguns autores, essa ação da Prefeitura era o progresso se impondo ao território.                              |
| <b>Década de 1960</b> | Com o intenso adensamento na região da Lagoa da Pampulha, foi idealizado pelo arquiteto urbanista Radamés Teixeira a Operação Peruca Verde. O projeto consistia no tratamento de todos os mananciais da Lagoa da Pampulha como parques e espaços livres e a criação de zoneamento reservando as margens da Lagoa para atividades recreativas. | O projeto tinha grande potencial de impactar positivamente o ordenamento do território nas proximidades da Lagoa da Pampulha, porém foi arquivado e a urbanização do local ocorreu de forma rápida e desordenada.                   |
|                       | Em 1963, a Prefeitura realizou a supressão de mais de 350 exemplares de Ficus existentes na avenida Afonso Pena buscando eliminar insetos que se tornaram pragas para a vegetação.                                                                                                                                                            | Os maciços de árvores da avenida Afonso Pena eram o cartão-postal de Belo Horizonte. A supressão da arborização da espécie Ficus alterou drasticamente a paisagem de um dos cartões-postais mais importantes da cidade.             |

**Fonte:** Adaptado de De Marco, 2020.

É interessante ressaltar algumas problemáticas presentes no decorrer do desenvolvimento de Belo Horizonte. A capital extravasou seus limites territoriais diversas vezes obrigando a municipalidade a buscar soluções para conter ou, pelo menos, minimizar os impactos negativos de uma ocupação desordenada e a falta de investimentos em infraestrutura e um planejamento urbano que fosse, de fato, o norteador da ocupação urbana. Uma das crises vivenciadas entre 1950 e 1960 até os dias de hoje está relacionada com as ocupações informais, a geração de extensas áreas de periferia e de favelização. Tal processo de ocupação se intensificou durante o tempo com o êxodo rural vivido no Brasil e as oportunidades de trabalho em indústrias em união com um alto custo de vida e um grande déficit habitacional. De tal forma, a vegetação urbana também foi impactada, pois áreas de vegetação nativa, de preservação e com a presença de córregos e nascentes foram ocupadas sem a devida precaução. Em bairros periféricos, como é o caso do Conjunto Paulo VI localizado na regional Nordeste, é possível observar moradias situadas em área que antigamente havia vegetação densa ou em terrenos com a presença de nascentes. Além de contribuir com a ausência de arborização urbana local, moradias como na Figura 8 correm altos riscos por estarem em terrenos bastante acidentados e sem qualquer infraestrutura formal.

**Figura 8.** Ocupação informal em antiga área verde do Conjunto Paulo VI, região Nordeste de Belo Horizonte



Atualmente a capital mineira conta com diversos parques urbanos em sua malha urbana, sendo eles por volta de 75 parques (PBH, 2019), além de um remanescente de Mata Atlântica situado no campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais. A arborização urbana viária é pouco presente no território como um todo, sendo bastante fragmentada e mais expressiva em alguns bairros das regionais Centro-Sul e Pampulha, beneficiando a população de alto poder econômico.

Assim como o território de Belo Horizonte mudou consideravelmente durante sua história de ocupação, suas condições climáticas também foram alteradas. Assis (2012) buscou conhecer a evolução do clima belorizontino por meio do mapeamento das unidades climáticas “naturais” e urbanas. Unidades climáticas “naturais”, são os parâmetros meteorológicos presentes na realidade urbana simplificada de Belo Horizonte entre os anos de 1910 e 1920. Já as unidades climáticas urbanas são referentes aos parâmetros meteorológicos da cidade atual consolidada.

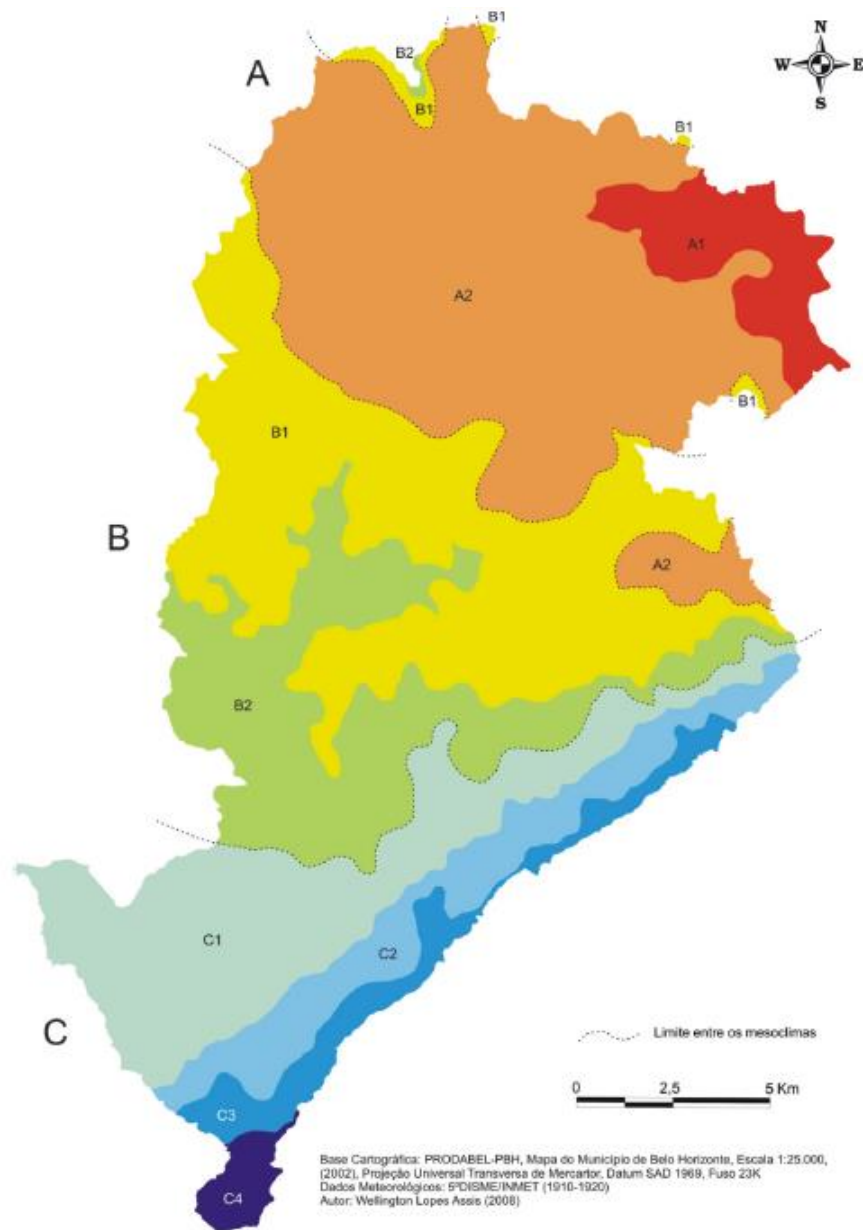
Por meio de dados obtidos por um antigo posto meteorológico instalado no início do século XX no Parque Municipal, simulações digitais de terreno, dentre outros dados, Assis (2012) gerou um mapa com a delimitação espacial das unidades climáticas “naturais” da cidade, como visto em Figura 9. Conforme o estudo, foi apontada a existência de duas grandes unidades de climas locais, sendo I – Clima Tropical de Altitude da Depressão de Belo Horizonte e II – Clima Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero. A diversidade de características climáticas deve-se muito pela diversidade de morfologia geológica encontrada no território onde a cidade se consolidou.

O clima local I está subdividido em 2 mesoclimas (A e B) e 4 topoclimas (A1, A2, B1 e B2). Em geral, esse clima local compreende a faixa de transição entre a floresta ombrófila semidecidual e formações típicas do Cerrado brasileiro, além de matas ciliares que acompanhavam os leitos dos ribeirões Arrudas e Izidoro e dos córregos Onça, Sarandi, Ressaca e Tijuco. É um clima de temperaturas amenas sujeito a aquecimentos diurnos pelo território nessa porção não contar com grandes barreiras topográficas. Os mesoclimas A e B ocupam a região topográfica mais deprimida do município favorecendo a drenagem noturna de ar frio em direção aos fundos de vale, assim como a receptação de chuvas que caem nos cursos d'água e nas demais porções do território de Belo Horizonte (ASSIS, 2012).

A unidade climática local II definida como Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero ocupa a parte mais elevada do município. Ela está subdividida em 4 topoclimas (C1, C2, C3 e C4) sendo eles semelhantes, pois ocupam praticamente áreas de serra, sendo a Serra do Curral a principal unidade geomorfológica. Por não haver nenhum obstáculo construído na época que pudesse barrar o fluxo natural dos ventos, como edifícios muito altos e uma urbanização complexa como nos dias atuais, os topoclimas possuíam boa ventilação, principalmente quando os fluxos de ventos eram de nordeste e sudoeste, muito em

função da altitude. A topografia, durante as estações de outono e inverno, permite o escoamento de ar frio em direção aos vales do ribeirão Arrudas.

**Figura 9.** Unidades climáticas “naturais” de Belo Horizonte



**Fonte:** Assis, 2010.

#### Quadro 4. Legenda das unidades climáticas “naturais” de Belo Horizonte

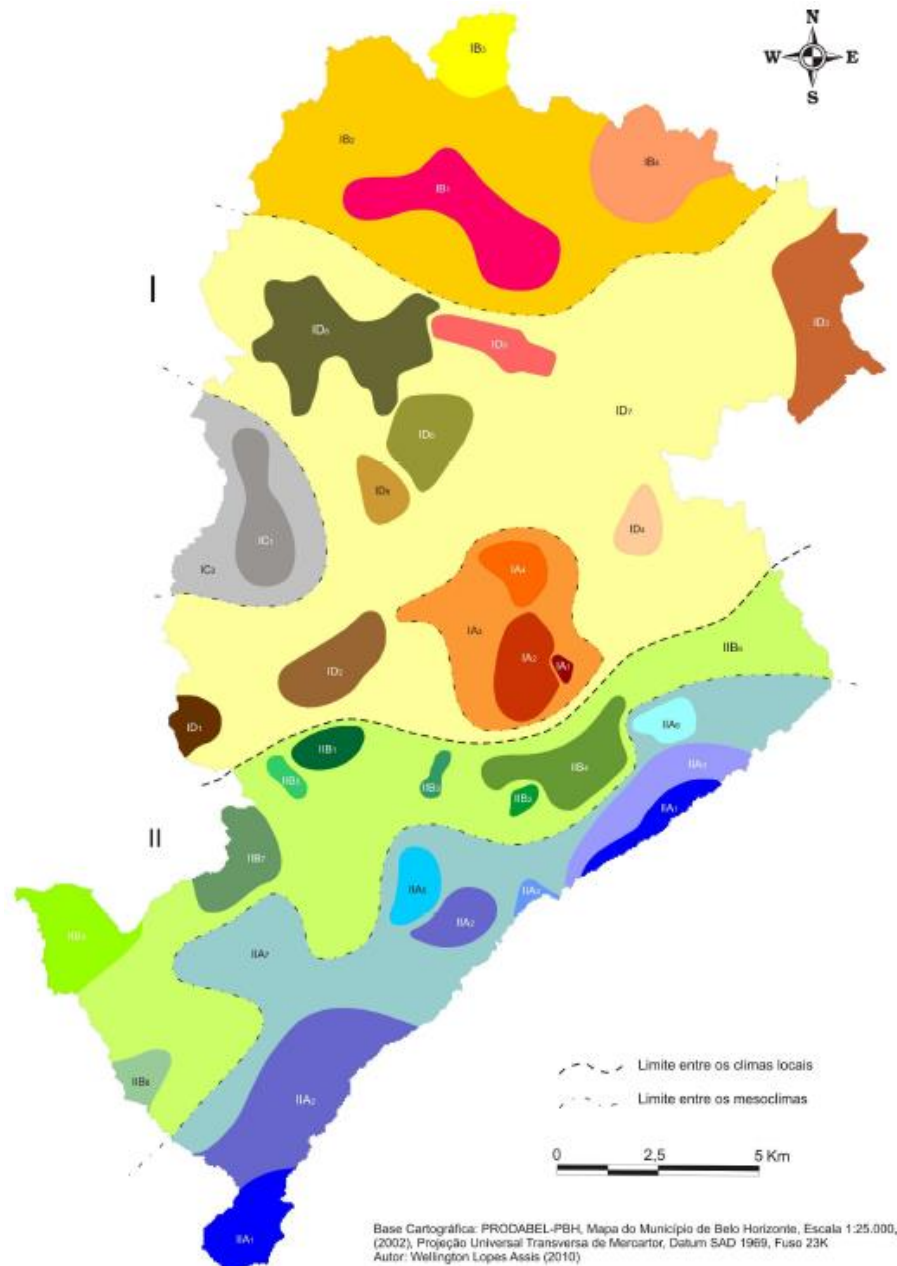
| Unidades Climáticas                                                  |           |           | Fatores Climáticos |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            | Elementos Climáticos   |             |             |             |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Clima Local                                                          | Mesoclima | Topoclima | Altitude (m)       | Morfologia do Terreno                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            | Temperatura do Ar (°C) |             |             | UR (%)      |
|                                                                      |           |           |                    | Principais Características                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Orientação | Média                  | Máxima      | Mínima      |             |
| I - Clima Tropical de Altitude da Depressão de Belo Horizonte        | A         | A1        | 675 - 700          | Colinas com topos aguçados e vertentes retilíneas na confluência do ribeirão do Onça com o rio das Velhas. Presença de espigões e vales encaixados com seções em forma de "V".                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | NW - SE    | 20,4 - 20,9            | 26,4 - 26,9 | 15,3 - 15,8 | 74,5 - 75,0 |
|                                                                      |           | A2        | 700 - 800          | Relevo suavemente ondulado com presença de amplas colinas de topos achatados e vales abertos de fundo chato do ribeirão Pampulha-Onça.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | W - E      | 20,0 - 20,4            | 26,0 - 26,4 | 14,9 - 15,3 |             |
|                                                                      | B         | B1        | 800 - 900          | Relevo ondulado e suavizado da Depressão de Belo Horizonte com vertentes côncavas e vales abertos côncavos. Na porção central e Oeste topos abaulados com vertentes retilíneas e vales côncavos. No extremo Norte do município destacam-se as feições dos espigões do Engenho Nogueira e Venda Nova com vertentes íngremes e ravinadas, cercadas por vales encaixados.                                                                                                                                                                                                                                                                        | W - E      | 19,7 - 20,0            | 25,7 - 26,0 | 14,6 - 14,9 | 73,5 - 74,0 |
|                                                                      |           | B2        | 900 - 1000         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | NNW - SSE  | 19,3 - 19,7            | 25,3 - 25,7 | 14,2 - 14,6 | 73,0 - 73,5 |
| II - Clima Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero | C         | C1        | 1000 - 1100        | No limite entre os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima existem cristas e escarpas da Serra do Curral com vertentes retilíneas ravinadas e vales encaixados em forma de "V". A linha de crista da Serra do Curral desenvolve-se por altitudes entre 1150m e 1510m, disposta na direção Sudoeste-Nordeste. Presença de subcompartimentos moderadamente ondulado entre 1100m a 1200m, assemelhando-se a pequenos tabuleiros em meio a sítios profundamente dissecados. No extremo Oeste do regional Barreiro ocorrência de relevo colinoso do ribeirão Arrudas, colinas alongadas, topos abaulados com vertentes convexas e vales côncavos. | SW - NE    | 18,8 - 19,3            | 24,8 - 25,3 | 13,7 - 14,2 | 72,5 - 73,0 |
|                                                                      |           | C2        | 1100 - 1200        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            | 18,0 - 18,8            | 24,0 - 24,8 | 12,9 - 13,7 | 72,0 - 72,5 |
|                                                                      |           | C3        | 1200 - 1300        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            | 17,1 - 18,0            | 23,1 - 24,0 | 12,0 - 12,9 | 71,5 - 72,0 |
|                                                                      |           | C4        | 1300 - 1510        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            | 15,7 - 17,1            | 21,7 - 23,1 | 10,6 - 12,0 | 71,0 - 71,5 |

Base Cartográfica : PRODABEL - PBH, Mapa do Município de Belo Horizonte , Escala 1:25.000, (2002), Projeção Universal Transversa de Mercator , Datum SAD 1969, Fuso 23K  
 Caracterização Geomorfológica : adaptado de PLAMBEL (1984), BAUMGRATZ (1988) e FERREIRA (1997)  
 Dados Meteorológicos : #DISME /INMET (1910-1920)  
 Autor: Wellington Lopes Assis (2008)

**Fonte:** Assis, 2010.

Para determinar as unidades climáticas urbanas, Assis (2010) realizou análises a partir de experimentos de campo que buscaram levantar informações sobre a temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos. Por meio de dados obtidos em aferições locais, foram observadas mudanças significativas em alguns parâmetros em relação às análises de clima “natural”, principalmente na temperatura mínima e umidade relativa do ar apontando um ligeiro aquecimento da atmosfera local e um decréscimo nos valores hídricos (ASSIS, 2010). A partir da sobreposição dos dados levantados com os mapas de uso de solo, densidade demográfica e modelo digital de terreno – MDT, foi possível identificar os climas urbanos, mesoclimas e topoclimas, gerando o mapa apresentado na Figura 10. Para consultar a legenda da figura 10, ir em Anexo 1.

**Figura 10.** Unidades climáticas de Belo Horizonte.



**Fonte:** Assis, 2010.

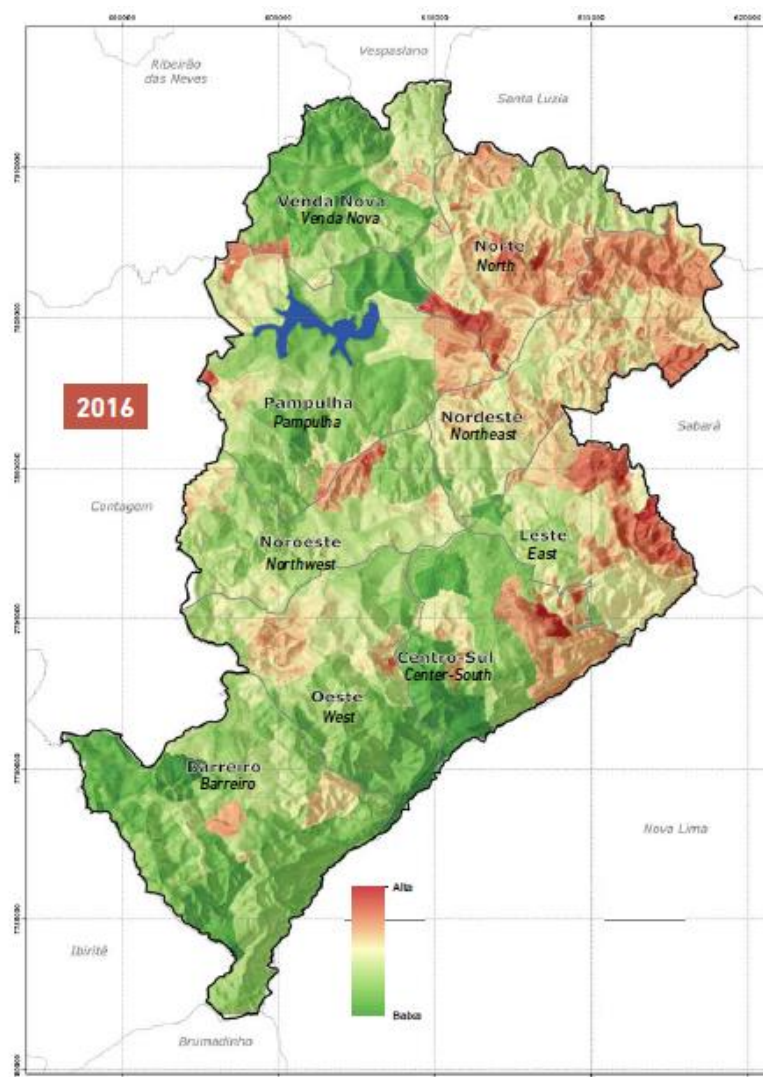
Na análise de clima urbano, Belo Horizonte continua com duas unidades climáticas locais (I - Depressão de Belo Horizonte e II - Serras do Quadrilátero Ferrífero) porém houve aumento do número e diversidade de mesoclimas e topoclimas. Na análise do clima “natural”, o município contava com 3 mesoclimas e 8 topoclimas no total. Agora, foram identificados 6 mesoclimas e 35 topoclimas. Para Assis (2010), isso evidencia a interferência antrópica no clima da cidade, por meio de profundas alterações no uso do solo e rápido desenvolvimento econômico-industrial a partir da década de 1950, sendo esses fatores-chave para a modificação do clima local e a formação de núcleos de aquecimento contínuos. A presença de ilhas de calor no



estudo coincidiu com os locais mais adensados e impermeabilizados do município, locais estes com intenso tráfego de veículos e fluxo de pessoas. Assim, Assis (2012) concluiu que as diferenças de altitude e relevo são grandes controladores climáticos, porém é observado que o uso do solo pode determinar mudanças no topoclima e no mesoclima da cidade. A cobertura vegetal é um importante indicador de qualidade de vida e de biodiversidade local, o que pode ser visto como preocupante a diminuição de áreas verdes nos bairros periféricos, as degradações ambientais e o aumento de particulados contaminantes no ar da cidade (ASSIS, 2012).

Nos últimos anos, a municipalidade vem desenvolvendo diversas políticas públicas e estudos sobre o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas a partir de um planejamento urbano que acompanhe as diretrizes da Agenda 2030 e dos acordos internacionais. Em 2006 constituiu-se o Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência - CMMCE (BELO HORIZONTE, 2016). Por meio desse Comitê foi solicitada a realização de uma Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas. Foi observado que as tendências do clima futuro de Belo Horizonte indicam um aumento de 32% na variação relativa à exposição climática de eventos associados a chuvas intensas, potencializando o risco de inundações e deslizamentos, ampliando a propensão a perdas e danos (WAYCARBON, 2016). Em relação à saúde, verificou-se nos últimos anos um importante acréscimo dos casos de doenças tropicais transmitidas por mosquitos vetores e a ocorrência de ondas de calor. O estudo elencou as 10 áreas mais vulneráveis da cidade no cenário de 2016 e realizou projeções para o ano de 2030, caso nada fosse modificado no território urbano. A metodologia utilizada foi semelhante à do Quarto Relatório de Avaliação do Painel de Intergovernamental de Mudanças Climáticas (AR4 - IPCC, 2007). Com a utilização da base de dados da Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte - PRODABEL, ferramentas de geoprocessamento e da plataforma MOVE, desenvolvida pela WayCarbon, empresa responsável pelo estudo, foram gerados mapas contendo os *hotspots* de vulnerabilidade no município, visto em Figura 11.

**Figura 11.** Hotspots de vulnerabilidade em Belo Horizonte para o ano de 2016.



**Fonte:** WayCarbon, 2016

É importante ressaltar a parceria constituída entre a Prefeitura Municipal com o Conselho Internacional de Iniciativas Ambientais Locais – sigla em inglês ICLEI, uma organização internacional com o intuito de apoiar redes locais de governança ao desenvolvimento urbano sustentável através de influência em ações e políticas de baixo carbono e baseadas na natureza de forma equitativa, resiliente e circular (ICLEI, 2019). Por meio da coordenação do ICLEI, diversos projetos estão em desenvolvimento com a municipalidade envolvendo suas secretarias e até mesmo outros municípios. Dentre eles, se faz interessante destacar o Interact-Bio. O projeto tem a coordenação de Belo Horizonte, porém tem abrangência na região metropolitana (RMBH) com o objetivo de incorporar aspectos da biodiversidade nos instrumentos de planejamento, de forma a promover o desenvolvimento baseado na natureza junto às comunidades urbanas (ICLEI, 2019). A proposta do Interact-Bio na RMBH é a de olhar com maior atenção o serviço ecossistêmico de provimento de alimentos principalmente para as comunidades mais vulneráveis econômica e

socialmente. Para atingir seu objetivo, o projeto pretende implementar uma trama verde azul por meio de práticas agroecológicas, sistemas agroflorestais, fazendo conexão com as Unidades de Conservação existentes, seguindo orientações do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI para a região metropolitana que foi elaborado no ano de 2011 e está em estágio de aprovação na Assembleia Legislativa de Minas Gerais.

A criação do PDDI iniciou uma discussão maior sobre a interligação como forma de fortalecimento da biodiversidade. Segundo Oliveira e Costa (2018), com o PDDI elaborado, seguiu-se a construção do Macrozoneamento Metropolitano dando continuidade ao processo de planejamento, o que impulsionou a proposta de concepção de uma trama verde azul como elemento articulador do território metropolitano, inspirada na experiência francesa. A Trama Verde Azul da RMBH teria como objetivos recuperar e ampliar espaços verdes urbanos, reforçar identidades culturais e criar novas possibilidades de usos democráticos, dentre outros. Oliveira e Costa (2018) comentam que alguns desafios foram encontrados no processo de trabalho como o fato de a “trama” não ser algo contratual, se tornando segundo plano, além da escala do território que era muito ampla e a ausência de uma metodologia definida de maneira consensual. Algo que pode ter contribuído à retração da proposta conceitual da trama verde azul é o fato dela ter sido instrumentalizada como um sobre zoneamento urbanístico com diretrizes generalistas e vagas, se consagrando mais com uma dimensão normativa e fiscalizatória. Apesar disso, a movimentação causada provocou debates interessantes, podendo-se dizer que foi construída uma trama teórica, utópica e política (OLIVEIRA e COSTA, 2018).

Mais recentemente o novo Plano Diretor de Belo Horizonte foi aprovado pela Câmara dos Vereadores. Desde 2014, o novo Plano Diretor (Lei Municipal nº 11.181/19) estava com sua aprovação pendente. Sua formulação contou com participação popular da sociedade belo-horizontina, grupos de representações, academia e técnicos da Prefeitura Municipal. É observado que o prolongamento da sua aprovação como lei municipal se deve muito pelo fato de que o novo plano modifica as normativas de uso e ocupação de solo, assim como a taxa de ocupação dos lotes, fatores que não beneficiaram uma parcela dos grandes empreendedores da cidade. A fim de promover uma cidade mais benéfica à manutenção da biodiversidade e com maior capacidade de adaptação e resiliência aos efeitos das mudanças climáticas, os princípios, objetivos e diretrizes contidos no Plano Diretor fundamentam-se no princípio da Função Social da Propriedade e da Cidade, nos termos do Art. 182 da Constituição Federal de 1988 e do Art. 2º da Lei Federal nº 10.257/2001 - Estatuto da Cidade, bem como nas disposições da Nova Agenda Urbana - NAU e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS (PBH, 2019).

O novo Plano Diretor de Belo Horizonte conta com normativas abrangentes à arborização urbana no Título I, Capítulo VI - meio ambiente. No artigo 10, itens VI e VII, o Plano diz que é um princípio vinculado à proteção ambiental a ampliação da arborização urbana municipal a partir da elaboração de um plano diretor de arborização e a instituição de corredores verdes, assim como criação de condições para sobrevivência de avifauna por meio de plantio de árvores frutíferas no meio urbano (BELO HORIZONTE, 2019). Um grande diferencial deste plano diretor é que ele considera a arborização urbana viária e, além disso prevê corredores verdes, o que é um avanço nas discussões municipais e nacionais relacionadas à infraestrutura verde urbana. No Título II, Seção IX – das áreas de conexões ambientais, artigo 112 é conceituado o que é compreendido pela lei como conexões ambientais, sendo dividida entre conexões verdes e conexões de fundo de vale. Como estratégia para a efetivação das áreas de conexão ambiental, a lei prevê a definição de parâmetros urbanísticos e a execução de obras públicas, principalmente no que diz respeito à proteção de cursos d'água e à conformação de corredores verdes. Além do texto da lei, o Anexo II – Mapa da estrutura ambiental traz áreas com suas respectivas taxas de permeabilidade exigidas, assim como traçados identificados como as conexões verde e conexões de fundo de vale (vide anexo).

Conforme Santos (2019), não foi elaborada nenhuma metodologia específica para delimitação das conexões verdes. A definição das vias foi feita com base em dois critérios: vias que conectam duas ou mais áreas verdes protegidas ou áreas com maciço arbóreo relevante e vias que conectam dois ou mais espaços públicos, onde há intenção de recuperação ambiental com foco no adensamento e diversificação da vegetação. Algumas das vias demarcadas possuem vegetação arbórea expressiva, nas quais o objetivo é a manutenção e conservação dos indivíduos. Outras vias não possuem expressivo número de vegetação, neste caso, o objetivo é a recuperação da área degradada mediante plantios.

Entende-se que esse estudo poderá agregar conhecimentos, preenchendo possíveis lacunas que ainda existam e reforçando as políticas públicas em desenvolvimento que são de interesse da municipalidade.

#### **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A partir do objetivo geral desse estudo que é desenvolver modelo de análise multicritérios para a elaboração de um mapa de áreas significativas para a constituição da infraestrutura verde na cidade de Belo Horizonte foram adotados passos metodológicos para que fosse possível obter resultados satisfatórios dessa investigação.

Considerando que a temática investigada por esta pesquisa está sendo muito discutida atualmente, porém ainda com muitos avanços a serem feitos e poucos casos semelhantes, principalmente no cenário brasileiro, foi selecionado o método de abordagem indutivo que possibilita a observação de um caso específico, para assim, contestar a teoria e/ou acrescentar conhecimentos mais amplos do que aqueles em que a premissa deste estudo está baseada.

Como métodos de procedimento, foram adotados o estudo de caso e a análise multicritérios. Através do estudo de caso foi possível utilizar dados e situações reais e assim, elaborar critérios e recomendações menos generalistas que contribuam de fato para planos e políticas públicas futuras. Assim, foi escolhida a cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, para ser analisada. Por meio de acordos entre a municipalidade e instituições interessadas na temática, tem-se vivenciado um período na cidade onde estão em discussão projetos e iniciativas com o objetivo de diminuir as vulnerabilidades físicas e climáticas do território urbano belo-horizontino. A investigação aqui proposta deverá potencializar a discussão na municipalidade. Além disso, a cidade tem boa oferta de dados georreferenciados, o que viabiliza o estudo. Foram analisados os dados mais recentes disponíveis para que os resultados obtidos caracterizem a situação atual do território. Por ser uma investigação de caráter abrangente e que envolve por natureza diversos critérios e variáveis, viu-se a necessidade de utilizar a análise multicritérios para abranger a complexidade colocada. Foram utilizados dois métodos de análise multicritérios, a análise combinatória e a pesos de evidência. A partir de cada análise foi desenvolvido um produto, sendo os dois produtos não somáveis, porém complementares e necessários ao suporte do planejamento urbano.

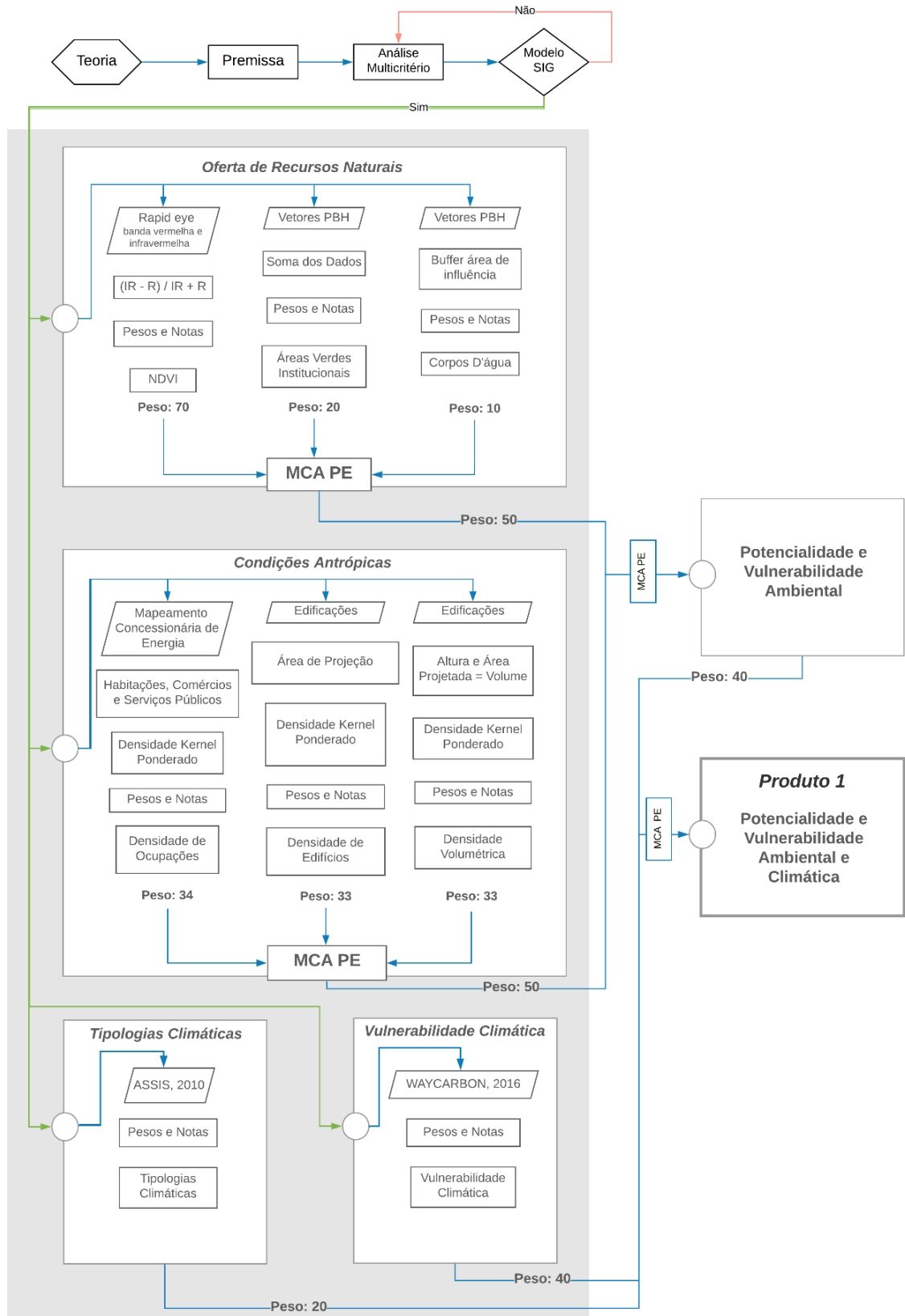
As técnicas utilizadas são de observação direta extensiva para atender as necessidades de cada método de procedimento adotado. As técnicas descritas se mostraram suficientes à investigação, sendo elas:

- Levantamento bibliográfico e estudo das referências teóricas;
- Levantamento de dados – História de ocupação, aspectos urbanos de uso e ocupação do solo, físico-ambientais e climáticos da cidade de Belo Horizonte por meio de bibliografia especializada;
- Levantamento de dados georreferenciados – Bases georreferenciadas do território disponibilizadas pelo Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (LABGEO – EA/UFGM), empresa WayCarbon e Prefeitura Municipal por meio da plataforma BHMap;
- Tratamento e representação de dados – Padronização dos dados a partir de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a construção das camadas;

- Geoprocessamento – Utilização de ferramentas SIG para trabalhar com as camadas, fazer análises e somá-las, gerando os mapas com os resultados finais.

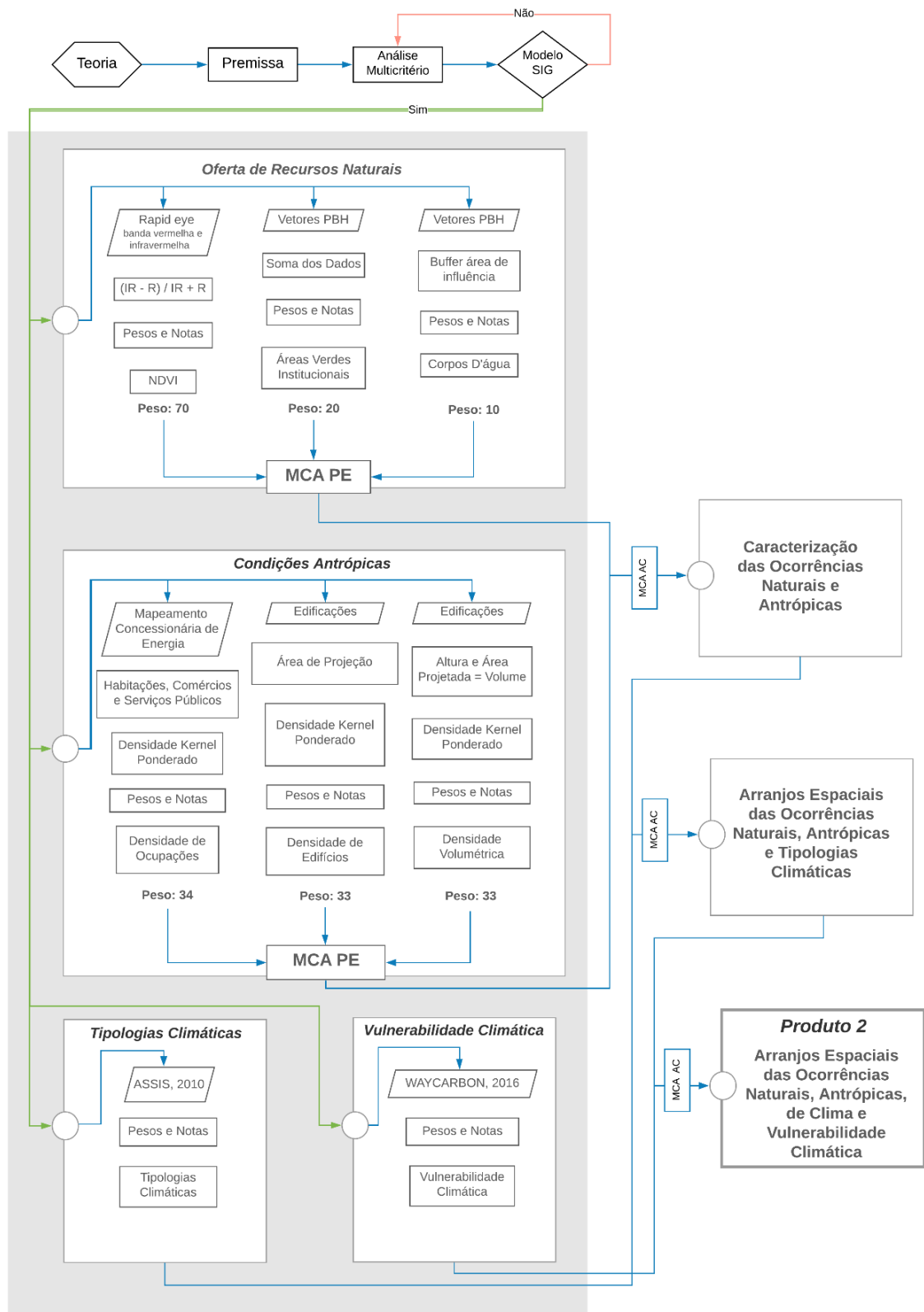
A partir dos fluxogramas dos passos metodológicos, visto em Figura 12, 13 e 14, é possível compreender melhor a dinâmica adotada para este estudo.

**Figura 12.** Fluxograma dos passos metodológicos adotados para o Produto 1.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

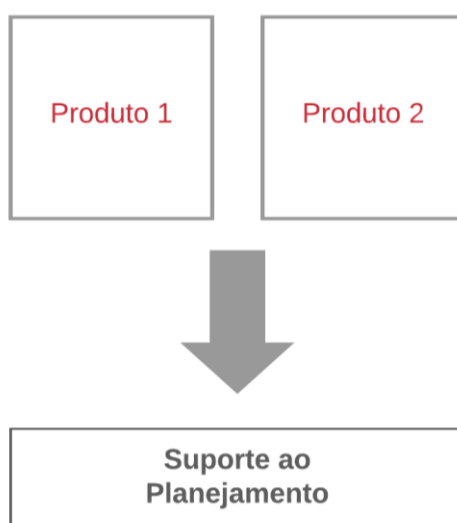
**Figura 13.** Fluxograma dos passos metodológicos adotados para o Produto 2.



Fonte: Elaboração própria, 2020.



**Figura 14.** Produtos que se complementam e suportam o planejamento.



**Fonte:** Elaboração própria, 2020.

## 4.1 Processamento dos dados

### 4.1.1 Produção dos dados iniciais

A partir da revisão bibliográfica, foram identificados os critérios necessários para a realização das análises propostas (QUADRO 4). Por compreender que a infraestrutura verde é uma rede interconectada de áreas naturais (BENEDICT e MCMAHON, 2009), foi assimilado que locais de implementação de infraestrutura verde precisam contar com áreas verdes ou corpos d'água próximos e que locais onde não há algum tipo de oferta de recursos naturais são vulneráveis do ponto de vista ambiental e climático. Assim, foi necessário compreender onde há ausência ou presença significativa de vegetação e corpos d'água. Como não há dados sobre arborização urbana em Belo Horizonte, foram utilizados dados referentes a presença de áreas verdes institucionais, ou seja, onde há algum tipo de proteção por lei ou pela municipalidade. Para compreender a presença de vegetação robusta, isso é, a vegetação com maior capacidade de produção de clorofila e, consequentemente, maior contribuição para a amenização do clima local, foi utilizado o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, em português). Com isso, foram compostas três variáveis: corpos d'água, áreas verdes institucionais e o NDVI. O critério e variáveis comentadas compuseram a camada Oferta de Recursos Naturais.

Conforme apontado nos estudos de Monteiro (2022) e Assis (2010), o uso do solo urbano influencia diretamente no conforto térmico das cidades. A intensa ocupação do território e a supressão de vegetação prejudica diretamente a qualidade do clima urbano. Portanto, quanto maior a densidade ocupacional, mais vulnerável é a

localidade. Assim, foi formulada a camada Condições Antrópicas. Para compor a camada foram desenvolvidas três variáveis que se complementam. São elas densidade de ocupações, de edifícios e volumétrica. Cada variável será detalhada item B desse capítulo.

**Quadro 5.** Descrição dos critérios e variáveis correspondentes de cada camada.

| CAMADAS                     | VARIÁVEIS                                                                                                            | FONTES                       | CRITÉRIOS DE ANÁLISE                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oferta de Recursos Naturais | NDVI – classificação da qualidade da vegetação presente no município                                                 | LABGEO - UFMG, 2020          | Áreas onde há oferta de recursos naturais são compreendidas como estratégicas para a IV. Onde não há essa oferta, é caracterizado como uma área vulnerável se aliado à demais fatores, como alta densidade e ondas de calor, por exemplo.                           |
|                             | Áreas verdes institucionais - parques, praças, UCs, RPPN, APE, estação ecológica, zoobotânica, APA, necrópole, CEVAE | PBH, 2020                    |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                             | Corpos d'água - nascentes, brejos, córregos/rios ainda em leito aberto ou canal revestido aberto                     | PBH, 2020                    |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Condições Antrópicas        | Densidade de ocupações - residências, comércios, serviços públicos que recebem conta de energia da concessionária    | Projeto Gemini cedido à UFMG | Áreas com altas densidades podem ser compreendidas como vulneráveis, principalmente se não houver a oferta de recursos naturais relacionada. A densidade de edifícios é a mais preocupante por significar que determinado território está mais exposto à luz solar. |
|                             | Densidade de edifícios – indica maior densidade de edificações no território                                         | PBH, 2020                    |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                             | Densidade volumétrica – indica maior densidade de edificações altas no território                                    | PBH, 2020                    |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Tipologias Climáticas       | Caracterização dos mesoclimas de Belo Horizonte                                                                      | ASSIS, 2010                  | Mesoclimas com maior carga térmica são prioritários a ações de aumento da capacidade de resiliência.                                                                                                                                                                |
| Vulnerabilidade Climática   | <i>Hotspots</i> de vulnerabilidade do ponto de vista climático de Belo Horizonte.                                    | WAYCARBON, 2016              | Áreas mais vulneráveis são prioritárias a ações que aumentem consideravelmente a capacidade de resiliência urbana.                                                                                                                                                  |

**Fonte:** Elaboração própria, 2020.

Esse estudo aborda a infraestrutura verde como um instrumento estratégico de aumento de resiliência. Portanto, além de ser analisada a vegetação e as condições de uso do solo do município de Belo Horizonte, é necessário compreender suas condições climáticas. Para isso, foram utilizados os estudos de Assis (2010) e da WayCarbon (2016) compondo as camadas Tipologias Climáticas e Vulnerabilidade Climática respectivamente. A camada Tipologias Climáticas é responsável por caracterizar os mesoclimas presentes em Belo Horizonte. A partir disso, os mesoclimas mais quentes foram considerados os mais vulneráveis, sendo necessário ações de aumento de resiliência de forma prioritária. No caso da camada Vulnerabilidade Climática, há vulnerabilidades que foram analisadas anteriormente no estudo da WayCarbon (2016). O objetivo dessa camada é mostrar localidades que já são consideradas vulneráveis pelo município de Belo Horizonte e compreender como as demais camadas se comportam na realização da soma e combinação entre elas.

Os dados selecionados foram tratados e qualificados a fim de se tornarem variáveis pertencentes a suas respectivas camadas. As camadas Oferta de Recursos Naturais e Condições Antrópicas são uma composição de variáveis. Para o desenvolvimento da camada, cada variável obteve um peso conforme sua relevância e foi combinada com as demais variáveis da sua camada por meio de análise multicritérios por pesos de evidência (MCA-PE). No caso das camadas Tipologias Climáticas e Vulnerabilidade Climática, há somente uma variável.

Após a composição de cada camada, elas foram tratadas e qualificadas para a realização das integrações entre elas por meio de análise multicritérios. As camadas foram divididas em faixas e cada faixa obteve uma nota conforme sua relevância à investigação. É importante frisar que os critérios adotados anteriormente nortearam as integrações e as análises dos dados obtidos em cada etapa da investigação.

Primeiramente foi realizada a análise multicritérios por pesos de evidência (MCA-PE) entre a camada A e B. O resultado da primeira análise foi somado às camadas C e D resultando no Produto 1. Posteriormente as camadas foram novamente combinadas, agora por análise multicritérios por análise combinatória (MCA-AC). As camadas foram combinadas em pares sendo a primeira análise entre as camadas A e B. O resultado intermediário da primeira análise foi combinado com camada C e resultado intermediário da segunda análise com a camada D. Assim, foi obtido o Produto 2. Ao final, foi possível produzir dois produtos, sendo um complementar ao outro. A seguir, seguem os procedimentos adotados detalhadamente para a construção de cada camada e ao final, a realização de cada análise multicritérios.

#### 4.1.1 Camada Oferta de Recursos Naturais

Essa camada considera a localização e a qualidade das porções naturais ainda presentes no território de Belo Horizonte, sendo considerados nesse estudo os corpos d'água e a vegetação. A camada de Recursos Naturais apresenta as potencialidades de Belo Horizonte, uma vez que para planejar a infraestrutura verde é necessário partir de porções naturais pré-existentes.

##### I. Variável Infraestrutura Azul

Para considerar os corpos d'água na camada, foram utilizados dados georreferenciados de nascentes, brejos, córregos e rios disponibilizados pela Prefeitura de Belo Horizonte - PBH. No caso dos córregos e rios, foram considerados somente aqueles que ainda estão em leito aberto ou são um canal revestido aberto, pois são aqueles que ainda tem algum potencial de promover benefícios à cidade. Foi utilizado o *buffer* de cada corpo d'água considerando sua área de influência conforme as normas referentes à Áreas de Preservação Permanente, sendo 5 metros para nascentes e 15 metros para o restante das tipologias. Foi feita a soma dos dados e a conversão de mapa vetorial para raster, sendo composta a variável Infraestrutura Azul.

A fim de qualificar os dados, foram dadas notas conforme a importância de cada dado à análise. Assim, onde há a presença de qualquer tipologia de corpo d'água a nota é 10 e onde há ausência, nota 0.

##### II. Variável Vegetação Institucional

No caso da vegetação existente foram considerados dados que constituíram duas variáveis, a Vegetação Institucional e o NDVI. Para a variável Vegetação Institucional foram considerados dados georreferenciados de parques, praças, Estação Ecológica, cemitérios-parque, Centros de Vivência Agroecológica (CEVAE) e áreas verdes protegidas por lei como Áreas de Proteção Ambiental (APA), Unidades de Conservação (UC), Áreas de Proteção Especial (APE) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). Todos os dados foram cedidos pela Prefeitura de Belo Horizonte – PBH por meio da plataforma BHMap. Os dados foram somados e qualificados por meio de notas que foram dispostas conforme a relevância de cada tipologia de área verde e seu nível de proteção ambiental, sendo mais relevantes à análise as áreas verdes onde há maior proteção garantida por lei e maior contribuição ao clima urbano. Assim, parques, Estação Ecológica, UCs, APE e RPPN obtiveram nota 10, APA obteve nota 9, praças com nota 7, cemitérios-parque com nota 6 e CEVAEs com nota 5. Onde há ausência de áreas verdes institucionais obteve nota 0. Os CEVAEs são áreas verdes com alta biodiversidade, porém foi obteve nota 5 pelo fato de conter apenas vegetação mais rasteira com pouca

influência ao clima urbano se comparado com outras áreas verde que contêm vegetação mais expressiva.

### III. Variável NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, em inglês)

A variável NDVI conta com o próprio índice desenvolvido a partir de imagens de satélite *Rapid Eye*, disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura e Design da UFMG. O NDVI é um índice utilizado mundialmente, muito pelo fato de ser uma ferramenta relevante na análise de estudos ambientais. O índice tem se destacado de forma significativa, sendo um dos mais relevantes indicadores para a análise da cobertura de vegetação em diferentes períodos utilizando técnicas de sensoriamento remoto (BARROS, FARIAS e MARINHO, 2020).

O cálculo utilizado para se obter o NDVI é a diferença entre a refletância da banda infravermelha (IR) e da banda vermelha (R) dos sensores do satélite. O resultado vai de -1 a 1, sendo os valores mais próximos de 1 referentes a locais com vegetação mais robusta e os valores mais próximos de -1, locais com vegetação menos robusta. O NDVI é baseado na assinatura espectral do comportamento dos alvos da cobertura vegetal (SENA *et al*, 2018), apresentando o nível de robustez da vegetação a partir da presença de clorofila encontrada. Isso permite a identificação das mudanças dos níveis da clorofila na estrutura celular da planta, sendo adequado para separar a vegetação de outros usos do solo, além de classificar diferentes condições de cobertura vegetal. O cálculo para a obtenção do NDVI é possível, pois a clorofila absorve a radiação solar, reflete e essa reflexão é captada por sensores presentes em satélites. Quanto maior for a reflexão da luz, maior o nível de clorofila na vegetação, consequentemente, melhor seu estado de conservação e sua robustez. Sendo assim, quanto mais robusta for a vegetação, maior é sua capacidade de contribuir positivamente para as condições climáticas locais.

O NDVI obtido foi dividido em 4 faixas de reflectância. Essa divisão acompanhou a classificação pré-definida em bibliografia e estudos anteriores, facilitando a compreensão dos dados. As faixas são: vegetação arbórea ou vigorosa, vegetação rasteira ou arbustiva, áreas antropizadas ou com alguma vegetação e áreas muito antropizadas ou com água. Notas foram adotadas para cada faixa acompanhando sua relevância ao estudo. Foi adotada a nota 10 para áreas onde há vegetação arbórea ou vigorosa, 7 para vegetação rasteira ou arbustiva, 4 para áreas antropizadas ou com alguma vegetação e 0 para áreas muito antropizadas ou com água.

### IV. Composição da camada

Para compor a camada Oferta de Recursos Naturais, cada variável obteve um peso e foi realizada a análise multicritérios por peso de evidência. Os pesos foram adotados por meio de *knowledge-driven*, onde é considerado o conhecimento do

território e da base teórica envolvida para a adoção dos pesos. A variável NDVI obteve peso 70, seguido pela variável Vegetação Institucional com peso 20 e Infraestrutura Azul com peso 10. O NDVI recebeu o maior peso por ser um dado bastante detalhado sobre a localização e a robustez da vegetação presente, enquanto as demais variáveis apenas localizam os recursos naturais. A Infraestrutura Azul obteve o menor peso, pois foi compreendido que a vegetação tem maior presença no território de Belo Horizonte, portanto traz maior potencialidade para as ações de planejamento.

A camada Oferta de Recursos Naturais foi dividida em cinco faixas sendo nomeadas como alta oferta de recursos naturais, alta a média, média, média a baixa e baixa oferta. Para cada faixa foi determinada uma nota sendo, respectivamente, 10, 7, 5, 3 e 0.

#### **4.1.1 Camada Condições Antrópicas**

A camada de Condições Antrópica apresenta dados referentes ao uso e ocupação do solo, buscando identificar locais onde há maior densidade de pessoas no município de Belo Horizonte.

##### **V. Variável Densidade de Ocupações**

Para compor essa variável, foram utilizados dados do projeto Gemini cedidos à UFMG para o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI) da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Especificamente foi utilizado dado georreferenciado sobre a localização de ocupações que fazem uso de energia elétrica no município e recebem a conta da concessionária. As ocupações denominadas e consideradas nesse estudo se referem a edifícios de uso residencial, de comércio e serviços públicos. O objetivo dessa variável é compreender onde há maior ocupação de pessoas, seja em habitações ou utilizando serviços públicos ou de comércio.

Para obter a densidade de ocupações foi realizada a Densidade de Kernel ponderada. Kernel é um modelo de densidade que computa a concentração de uma ocorrência podendo ser ponderado ou não. No caso de ser ponderado, como foi nesse estudo, a Densidade de Kernel considerou os atributos desejados (as tipologias de ocupações selecionadas) para dar mais enfoque nesses dados, auxiliando em sua análise. A Densidade de Kernel também foi utilizada nas demais variáveis que compõem a camada de Condições Antrópicas.

A densidade de ocupações foi dividida em cinco faixas, sendo baixa densidade, média a baixa densidade, média densidade, alta a média densidade e alta densidade. Com a qualificação das faixas, a baixa densidade obteve nota 10, média

a baixa densidade obteve nota 7, a média densidade ficou com nota 5, a alta a média densidade com nota 3 e alta densidade com nota 1. Quanto maior a densidade de ocupação, maior a vulnerabilidade do território, por isso as faixas mais densas tem as menores notas.

#### VI. Variável Densidade de Edifícios

No caso da variável Densidade de Edifícios, foi utilizado dado disponibilizado pela Prefeitura de Belo Horizonte (PBH). O objetivo dessa variável é compreender onde há maior concentração de edifícios em Belo Horizonte. Para isso, foi utilizada a área de projeção das edificações presentes no município e feita a Densidade de Kernel ponderada. Assim como na variável anterior, a Densidade de Edifícios foi dividida em cinco faixas, cada uma delas permanecendo com as notas determinadas anteriormente.

#### VII. Variável Densidade Volumétrica

A variável Densidade Volumétrica, ou geométrica, utilizou dado disponibilizado pela Prefeitura de Belo Horizonte (PBH). Essa variável se refere a densidade de edifícios do ponto de vista do volume que este edifício ocupa no meio urbano. Seu objetivo é indicar onde há maior concentração de edifícios de maior altura na cidade. Para isso, foi utilizado o volume construído das edificações (área projetada x altura) e realizada a Densidade de Kernel ponderada. Assim como na variável anterior, a Densidade Volumétrica foi dividida em cinco faixas, cada uma delas permanecendo com as notas determinadas anteriormente.

#### VIII. Composição da camada

Para compor a camada Condições Antrópicas, cada variável obteve um peso e foi realizada a análise multicritérios por peso de evidência. Pelo fato de as três variáveis componentes da camada se tratar de densidades e seus dados serem complementares, foi compreendido que todas tem importância similar. Sendo assim, a variável Densidade de Ocupações obteve peso 34 e as demais obtiveram peso 33 igualmente.

A camada Condições Antrópicas foi dividida em cinco faixas sendo nomeadas como alta densidade, alta a média, média, média a baixa e baixa densidade. Para cada faixa foi determinada uma nota sendo, respectivamente, 10, 7, 5, 3 e 0.

#### **Camada Tipologias Climáticas**

O dado componente da camada de Tipologias Climáticas foi cedido por Assis (2010). Em seu estudo, Assis (2010) identifica, classifica e caracteriza as unidades climáticas de Belo Horizonte, assim como seus mesoclimas e topoclimas. Nesse

estudo foram utilizados os dados de mesoclima, pois segundo Assis (2010), essas unidades podem ser compreendidas como homogêneas, englobando as características apresentadas em seus respectivos topoclimas. A partir das definições de Assis (2010) foi possível identificar os mesoclimas mais vulneráveis, necessitando maior atenção do ponto de vista de planejamento urbano. Foi adotada uma nota para cada mesoclima, sendo que aqueles mais vulneráveis tiveram uma nota mais baixa. Assim, os mesoclimas IA, IB e IC obtiveram respectivamente as notas 1, 3 e 5. Os mesoclimas ID, IIA e IIB obtiveram as notas 7, 8 e 10 respectivamente.

#### **4.1.1 Camada Vulnerabilidade Climática**

A camada de Vulnerabilidade Climática conta com a Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte desenvolvida pela WayCarbon (2016) e cedida ao estudo em questão. A análise indica quais são os *hotspots* de vulnerabilidade de Belo Horizonte do ponto de vista climático. Os níveis de vulnerabilidade foram divididos em cinco faixas e atribuídas notas, ficando a alta vulnerabilidade com nota 1, média a alta com nota 3, média vulnerabilidade com nota 5, média a baixa com nota 7 e baixa vulnerabilidade com nota 10.

#### **4.1.2 Integração das camadas por MCA pesos de evidência**

A análise multicritérios por pesos de evidência (MCA-PE) tem como objetivo gerar um índice classificatório. Esse processo é interessante para classificar vulnerabilidades, potencialidades, interesses e probabilidades (ROCHA, CASAGRANDE e MOURA, 2018). Assim, a realização de duas MCA-PE resultou em um produto bastante relevante para o objetivo proposto.

Após o desenvolvimento das camadas componentes do estudo foi realizada a MCA-PE. As primeiras camadas utilizadas foram Oferta de Recursos Naturais e Condições Antrópicas. Cada camada obteve peso 50, pois assim como é relevante compreender onde há a oferta de recursos naturais no território é preciso entender onde há vulnerabilidades do ponto de vista do uso do solo. O resultado dessa MCA-PE foi nomeado de Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental. Ele foi classificado em baixa e alta vulnerabilidade com notas 10 e 0 respectivamente. Locais indicados com baixa vulnerabilidade podem ser descritos como havendo alto índice de vegetação e baixa densidade. Já no caso de alta vulnerabilidade, há baixo índice de vegetação e alta densidade.

A seguir foi adicionado ao mapa Potencialidade e Vulnerabilidade Climática as camadas Tipologias Climáticas e Vulnerabilidade Climática. O resultado da primeira



MCA-PE obteve peso 40, assim como a camada Vulnerabilidade Climática. A camada Tipologias Climáticas obteve peso 20. Isso se deve pelo fato de que as potencialidades e vulnerabilidades do território tem maior relevância para a investigação. Assim, foi desenvolvido o mapa final nomeado Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental e Climática. Como o mapa anterior, ele foi classificado em baixa e alta vulnerabilidade estando com nota 10 e 0 respectivamente. Locais com baixa vulnerabilidade podem ser compreendidos como localizações com melhores condições de vegetação, adensamento, clima e menor vulnerabilidade climática enquanto locais com alta vulnerabilidade são localizações com piores condições de vegetação, adensamento, clima e com maior vulnerabilidade climática.

O mapa Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental e Climática é o produto 1 derivado desse estudo.

#### **4.1.3 Integração das camadas por MCA análise combinatória**

A análise multicritérios por análise combinatória (MCA-AC) tem como objetivo conhecer as possíveis coincidências territoriais das variáveis de acordo com as necessidades do pesquisador (ROCHA, CASAGRANDE e MOURA, 2018). Sendo assim, a MCA-AC foi utilizada para obter uma análise qualitativa da relação de cada camada componente desse estudo. Foram realizadas três MCA-AC para chegar ao desenvolvimento do produto 2 desse estudo.

A primeira MCA-AC foi a análise da camada Oferta de Recursos Naturais juntamente com a camada Condições Antrópicas. Foi possível identificar cinco combinações (QUADRO 5), cada uma com necessidades distintas de ação: recuperar, proteger, prioritário, monitorar e não prioritário. O mapa resultante da primeira MCA-AC foi nomeado como Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas.

**Quadro 6.** MCA-AC entre as camadas Oferta de Recursos Naturais e Condições Antrópicas

| <b>Oferta de Recursos Naturais</b> | <b>Condições Antrópicas</b> | <b>Ação</b>          | <b>Características</b>                                                                                             |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixa oferta de recursos naturais  | Baixa densidade             | Recuperar            | Áreas com grande potencial para a recuperação de recursos naturais                                                 |
| Alta oferta de recursos naturais   | Baixa densidade             | Proteger             | Áreas com recursos naturais a preservar ou controlar uso futuro por meio de parâmetros urbanísticos                |
| Baixa oferta de recursos naturais  | Alta densidade              | Prioritário em ações | Áreas densas e sem recursos naturais. Necessidade de projetos alternativos para aumentar a oferta de vegetação     |
| Alta oferta de recursos naturais   | Alta densidade              | Monitorar            | Áreas densas com recursos naturais. Necessário uso otimizado contanto que não seja reduzida a vegetação existente. |
| Média oferta de recursos naturais  | Média densidade             | Não prioritário      | Áreas não prioritárias a ação por estarem em condições médias.                                                     |

**Fonte:** Elaboração própria, 2020.

A segunda MCA-AC foi realizada entre a Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas, resultado obtido no passo anterior, com a camada Tipologias Climáticas. Dessa forma, foi combinada a caracterização do território referente aos recursos naturais presentes e a densidade de uso do solo com as determinações de cada mesoclima de Belo Horizonte. Foi percebido que entre as necessidades de ação havia situações mais relevantes do que outras. Tal fato resultou em 11 faixas (QUADRO 6), sendo elas: recuperar – 3 níveis, proteger – 1 nível, prioritário em ações – 2 níveis, monitorar – 2 níveis e não prioritário – 2 níveis. Somente a ação “proteger” permaneceu com um nível, pois foi compreendido que é necessário

proteger os recursos naturais em todos os territórios do município. O mapa resultante da segunda MCA-AC foi nomeado como Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas.

**Quadro 7.** MCA-AC entre mapa de Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas e camada Tipologias Climáticas

| <b>Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas</b> | <b>Camada Tipologias Climáticas</b> | <b>Ação</b>            | <b>Características</b>                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recuperar                                                   | IA                                  | Recuperar A            | Áreas de maior relevância para recuperação dos recursos naturais por estar em mesoclima mais vulnerável |
| Recuperar                                                   | IB, IC                              | Recuperar B            | Áreas de relevância para recuperação dos recursos naturais por estar em mesoclima vulnerável            |
| Recuperar                                                   | ID, IIB, IIA                        | Recuperar C            | Áreas com necessidade de recuperação dos recursos naturais                                              |
| Proteger                                                    | IA, IB, IC, ID, IIB, IIA            | Proteger A             | Foi considerado que proteger a vegetação é relevante independente do mesoclima                          |
| Prioritário em ações                                        | IA                                  | Prioritário em ações A | Áreas com prioridade alta de ação por estar em mesoclima mais vulnerável                                |
| Prioritário em ações                                        | IB, IC                              | Prioritário em ações B | Áreas com prioridade de ação por estar em mesoclima vulnerável                                          |

**Fonte:** Elaboração própria, 2020.

**Quadro 7.** (continuação)

| <b>Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas</b> | <b>Camada Tipologias Climáticas</b> | <b>Ação</b>            | <b>Características</b>                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prioritário em ações                                        | ID, IIB, IIA                        | Prioritário em ações C | Áreas com prioridade de ação por estar em mesoclima vulnerável                                                    |
| Monitorar                                                   | IA, IB, IC                          | Monitorar A            | Áreas relevantes com necessidade de monitoramento dos recursos naturais por estarem em mesoclima mais vulnerável  |
| Monitorar                                                   | ID, IIB, IIA                        | Monitorar B            | Áreas com necessidade de monitoramento dos recursos naturais                                                      |
| Não prioritário                                             | IA, IB, IC                          | Não prioritário A      | Áreas não prioritárias a ação por estarem em condições médias de qualidade ambiental, porém com certa relevância. |
| Não prioritário                                             | ID, IIB, IIA                        | Não prioritário B      | Áreas não prioritárias a ação por estarem em condições médias.                                                    |

**Fonte:** Elaboração própria, 2020.

A terceira MCA-AC foi realizada entre os Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas, resultado obtido no passo anterior, com a camada Vulnerabilidade Climática. Dessa forma, o território caracterizado por meio da presença de recursos naturais, densidade e seus mesoclimas foi combinado com o nível de vulnerabilidades climáticas atuantes em determinado local. As combinações continuaram derivando 11 faixas diferentes de necessidades de ação, assim como na análise anterior, sendo elas recuperar – 3 níveis, proteger – 1 nível, prioritário em ações – 2 níveis, monitorar – 2 níveis e não prioritário – 2 níveis. A ação “proteger” continuou com um nível somente pelo fato de ser relevante a proteção ambiental independente das condições locais. O mapa resultante da terceira MCA-AC foi nomeado como Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais,

Antrópicas, Climáticas e Vulnerabilidades Climáticas, sendo ele o produto 2 desse estudo.

**Quadro 8.** MCA-AC entre mapa de Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas e camada Vulnerabilidade Climática

| <b>Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas</b> | <b>Camada Vulnerabilidade Climática</b> | <b>Ação</b> | <b>Características</b>                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recuperar A                                                                            | Alta, média a alta e média              | Recuperar A | Áreas de maior relevância para recuperação dos recursos naturais por serem as mais vulneráveis |
| Recuperar A                                                                            | Média a baixa e baixa                   | Recuperar B | Áreas de relevância para recuperação dos recursos naturais por terem vulnerabilidade           |
| Recuperar B                                                                            | Alta e média a alta                     | Recuperar A | Áreas de maior relevância para recuperação dos recursos naturais por serem as mais vulneráveis |
| Recuperar B                                                                            | Média e média a baixa                   | Recuperar B | Áreas de relevância para recuperação dos recursos naturais por terem vulnerabilidade           |
| Recuperar B                                                                            | Baixa                                   | Recuperar C | Áreas com necessidade de recuperação dos recursos naturais                                     |
| Recuperar C                                                                            | Alta e média a alta                     | Recuperar A | Áreas de maior relevância para recuperação dos recursos naturais por serem as mais vulneráveis |
| Recuperar C                                                                            | Média                                   | Recuperar B | Áreas de relevância para recuperação dos recursos naturais por terem vulnerabilidade           |

|             |                       |             |                                                            |
|-------------|-----------------------|-------------|------------------------------------------------------------|
| Recuperar C | Média a baixa e baixa | Recuperar C | Áreas com necessidade de recuperação dos recursos naturais |
|-------------|-----------------------|-------------|------------------------------------------------------------|

**Fonte:** Elaboração própria, 2020.

**Quadro 8.** (continuação)

| <b>Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas</b> | <b>Camada Vulnerabilidade Climática</b>          | <b>Ação</b>            | <b>Características</b>                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Proteger A                                                                             | Alta, média a alta, média, média a baixa e baixa | Proteger A             | Foi considerado que proteger a vegetação é relevante em todas as situações |
| Prioritário em ações A                                                                 | Alta, média a alta e média                       | Prioritário em ações A | Áreas com prioridade alta de ação por serem as mais vulneráveis            |
| Prioritário em ações A                                                                 | Média a baixa e baixa                            | Prioritário em ações B | Áreas com prioridade de ação por serem muito vulneráveis                   |
| Prioritário em ações B                                                                 | Alta e média a alta                              | Prioritário em ações A | Áreas com prioridade alta de ação por serem as mais vulneráveis            |
| Prioritário em ações B                                                                 | Média e média a baixa                            | Prioritário em ações B | Áreas com prioridade de ação por serem muito vulneráveis                   |
| Prioritário em ações B                                                                 | Baixa                                            | Prioritário em ações C | Áreas com prioridade de ação por serem vulneráveis                         |
| Prioritário em ações C                                                                 | Alta e média a alta                              | Prioritário em ações A | Áreas com prioridade alta de ação por serem as mais vulneráveis            |
| Prioritário em ações C                                                                 | Média                                            | Prioritário em ações B | Áreas com prioridade de ação por serem muito vulneráveis                   |

|                        |                       |                        |                                                    |
|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| Prioritário em ações C | Média a baixa e baixa | Prioritário em ações C | Áreas com prioridade de ação por serem vulneráveis |
|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------------------------|

**Fonte:** Elaboração própria, 2020.

**Quadro 8.** (continuação)

| <b>Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas</b> | <b>Camada Vulnerabilidade Climática</b> | <b>Ação</b>       | <b>Características</b>                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monitorar A                                                                            | Alta, média a alta e média              | Monitorar A       | Áreas relevantes com necessidade de monitoramento dos recursos naturais por estarem em maior situação de vulnerabilidade |
| Monitorar A                                                                            | Média a baixa e baixa                   | Monitorar B       | Áreas com necessidade de monitoramento dos recursos naturais                                                             |
| Monitorar B                                                                            | Alta e média a alta                     | Monitorar A       | Áreas relevantes com necessidade de monitoramento dos recursos naturais por estarem em maior situação de vulnerabilidade |
| Monitorar B                                                                            | Média, média a baixa e baixa            | Monitorar B       | Áreas com necessidade de monitoramento dos recursos naturais                                                             |
| Não prioritário A                                                                      | Alta, média a alta e média              | Não prioritário A | Áreas não prioritárias a ação por estarem em condições médias de qualidade ambiental, porém com certa relevância.        |
| Não prioritário A                                                                      | Média a baixa e baixa                   | Não prioritário B | Áreas não prioritárias a ação por estarem em condições médias no geral.                                                  |

|                   |                              |                   |                                                                                                                   |
|-------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Não prioritário B | Alta e média a alta          | Não prioritário A | Áreas não prioritárias a ação por estarem em condições médias de qualidade ambiental, porém com certa relevância. |
| Não prioritário B | Média, média a baixa e baixa | Não prioritário B | Áreas não prioritárias a ação por estarem em condições médias no geral.                                           |

**Fonte:** Elaboração própria, 2020.

Assim, após a MCA-PE foi obtido o Produto 1 – Mapa de Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental e Climática e a partir da MCA-AC foi obtido o Produto 2 – Mapa de Arranjos Espaciais da Ocorrências Naturais, Antrópicas, de Clima e Vulnerabilidade Climática. Os produtos 1 e 2 não são integrados, mas são complementares e em conjunto dão suporte ao planejamento urbano. Enquanto o Produto 1 apresenta um ranking da situação existente sendo possível apontar onde estão as áreas mais vulneráveis e aptas à implementação de infraestrutura verde, o Produto 2 indica a ação que deve ser realizada em determinada localidade.

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos procedimentos metodológicos adotados para esse estudo, foi possível desenvolver os resultados aqui apresentados. Pelo fato desse estudo conter certo teor de ineditismo em sua metodologia, foi percebido que desde a composição das variáveis até o desenvolvimento dos Produtos 1 e 2 podem ser considerados resultados relevantes à bibliografia. Portanto, nesse capítulo, os resultados são apresentados e comentados seguindo o sumário do capítulo anterior, iniciando pelas variáveis de uma camada, sua composição, a integração das camadas pelas MCA-PE e MCA-AC até a elaboração dos produtos finais. Os mapas desenvolvidos contam com a divisão administrativas das regionais do município (FIGURA 4) e a avenida do Contorno, demarcação relevante do território de Belo Horizonte em seu desenvolvimento urbano. A área interna da avenida do Contorno também é denominada como “hipercentro”.

### 5.1 Camadas e variáveis

#### A. Camada Oferta de Recursos Naturais

Essa camada considera a localização e a qualidade das porções naturais ainda presentes no município de Belo Horizonte.

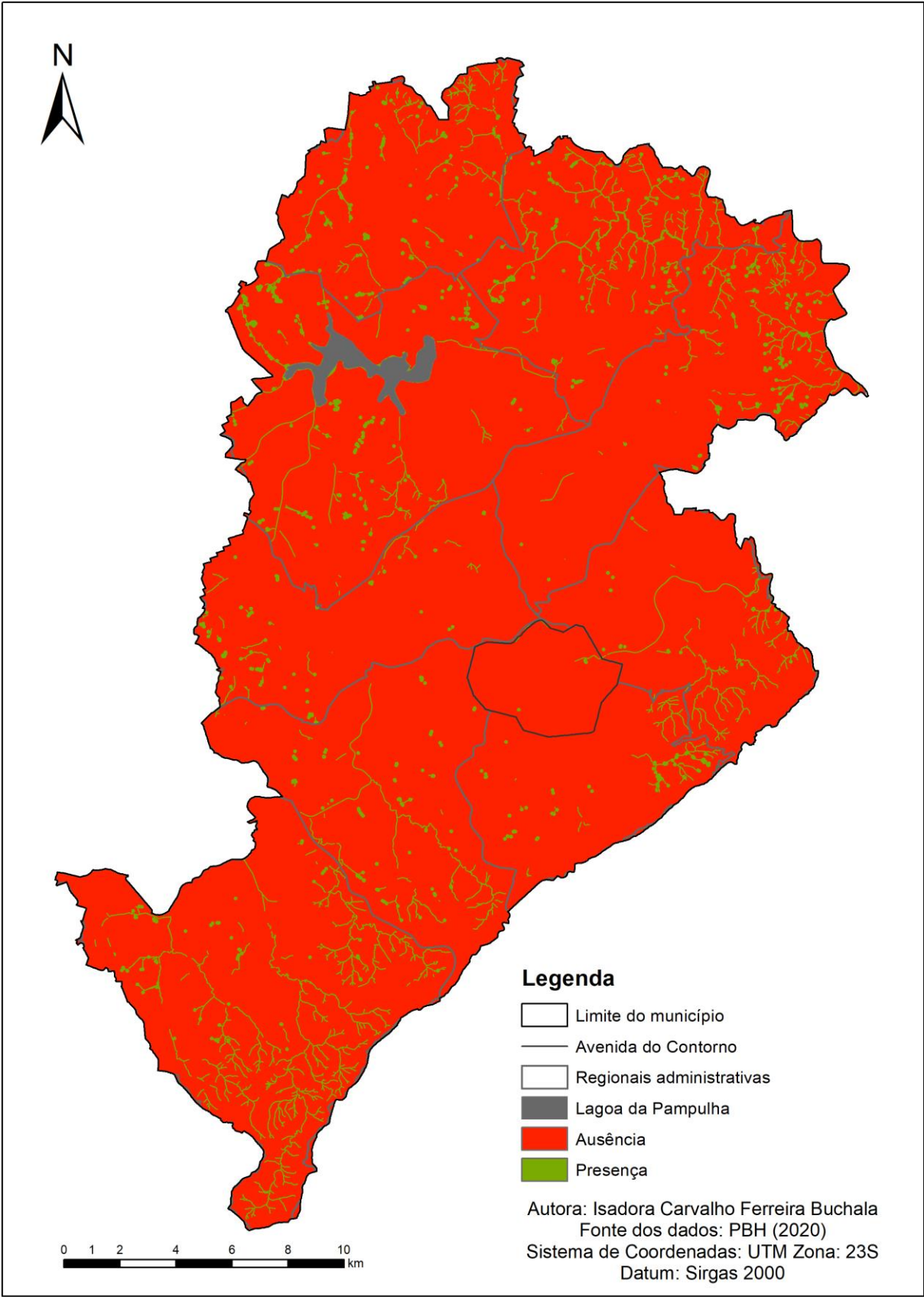


### I. Variável Infraestrutura Azul

Os dados georreferenciados considerados (nascentes, brejos, córregos e rios em leito aberto ou canal revestido aberto) foram analisados conforme o conhecimento do território. O mapa foi classificado entre a presença de corpos d'água e sua ausência (FIGURA 15).

É percebida uma quantidade expressiva de nascentes, córregos e rios em leito aberto ou canal revestido aberto em Belo Horizonte, principalmente nas bordas do território. Na área central do município, mais densamente urbanizada, há diversos córregos, porém estão em canais revestidos fechados, dando espaço a vias e infraestruturas urbanas.

Figura 15. Variável Infraestrutura Azul



## II. Variável Vegetação Institucional

Para a composição da variável Vegetação Institucional, foram considerados dados georreferenciados de vegetação que estão presentes em locais com algum tipo de manutenção pública ou privada. A classificação de notas foi realizada conforme a relevância da vegetação. Portanto, quanto mais protegida e mais extensa a área vegetada, mais relevante ao tecido urbano e à investigação em questão. Assim, em um intervalo de 0 a 10, parques, Estação Ecológica, UCs, APE e RPPN obtiveram nota 10, APA obteve nota 9, praças com nota 7, cemitérios-parque com nota 6 e CEVAEs com nota 5. Onde há ausência de áreas verdes institucionais obteve nota 0. A fim de qualificar as notas, foi determinado que áreas com notas 10, 9, 7, 6 e 5 são respectivamente áreas de alta relevância, média a alta, média relevância, média a baixa e baixa relevância (FIGURA 16).

É possível observar que há porções de vegetação institucional de grande extensão como o Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, Parque das Mangabeiras e porções menores como o Parque Municipal Américo Renné Giannetti, havendo ainda pequenas vegetações institucionais polvilhadas no território. As maiores porções estão nas áreas protegidas da Serra do Curral, extremo sul do município, constantemente ameaçada pela especulação imobiliária e expansão da urbanização.

## III. Variável NDVI

O NDVI é um índice de robustez da vegetação. Nesse estudo, ele foi utilizado para identificar onde há vegetação mais vigorosa e onde há vegetação deficitária. Por padrão, o NDVI é classificado em vegetação arbórea ou robusta, vegetação rasteira ou arbustiva, áreas antropizadas ou com alguma vegetação e áreas muito antropizadas ou com água. Assim, foram determinadas notas para cada classificação conforme sua relevância à análise proposta (FIGURA 17). Como esperado, a vegetação arbórea ou vigorosa é a mais relevante.

É percebido que a situação de Belo Horizonte é crítica, pois a predominância do mapa é de áreas antropizadas e apenas algumas porções com vegetação robusta. É possível traçar paralelo entre a robustez e a vegetação institucional do mapa anterior. É observado que a vegetação robusta está mais presente próxima às localidades onde há vegetação protegida consideradas de alta relevância na variável Vegetação Institucional.

Em algumas localidades há presença de vegetação arbórea ou rasteira em pequenas porções ou em vias, como é o caso do hipercentro, por exemplo. A centralidade do território na divisa das regionais Noroeste, Nordeste, Leste e Centro-Sul aparenta ser a região com menor presença de vegetação e maior antropização. É necessário recordar que o território antropizado não se trata somente de ocupações por residências e edifícios, mas também por infraestruturas urbanas, vias

de tráfego, etc. A porção oeste da regional Barreiro também apresenta grandes áreas antropizadas.

É possível que a vegetação robusta presente nas bordas do município, principalmente nas regionais Norte e Nordeste se deva pelo fato de serem regiões de expansão urbana, principalmente por populações com baixo poder econômico, muitas vezes ocupando o território sem muitas infraestruturas básicas.

Figura 16. Variável Vegetação Institucional

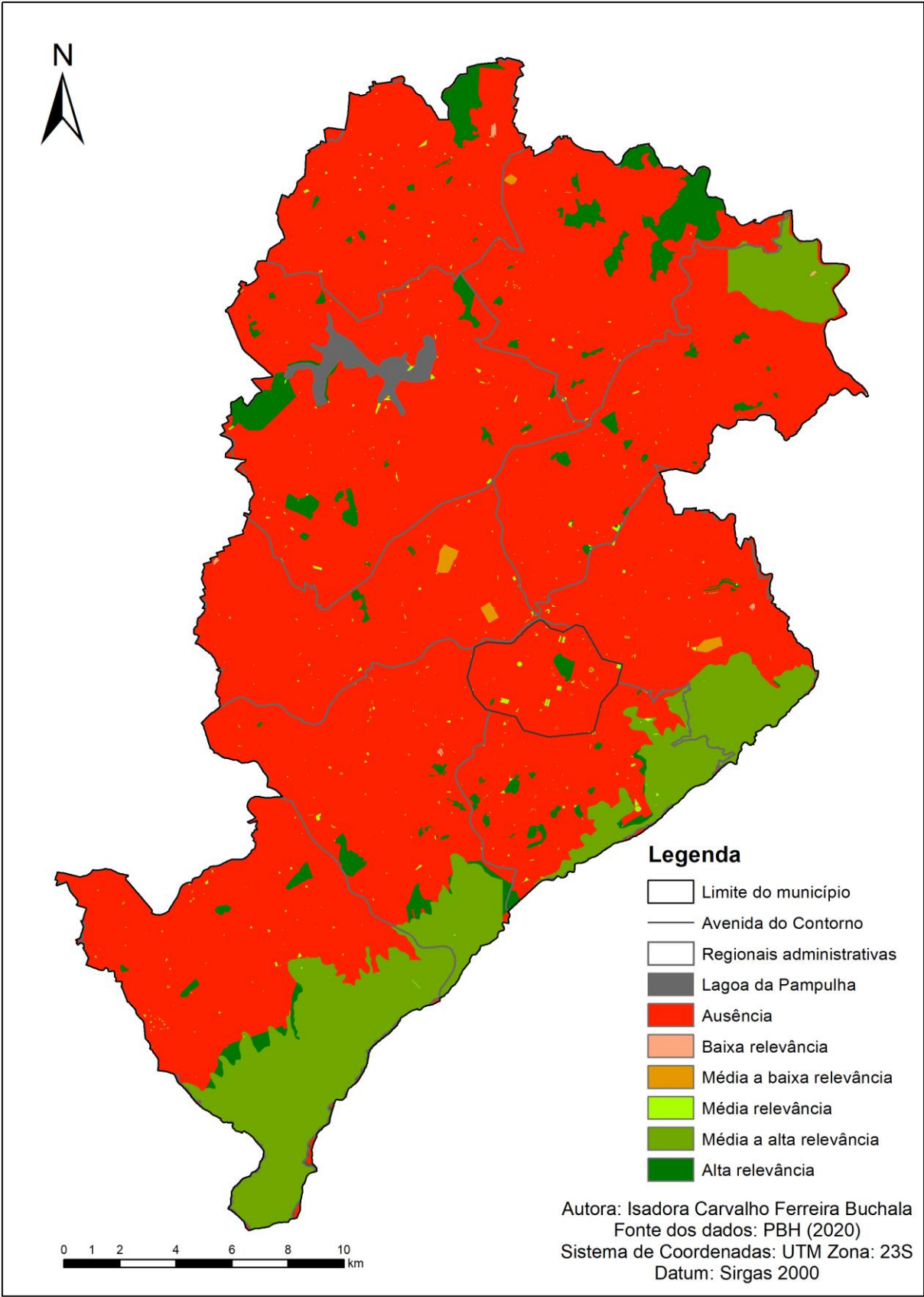
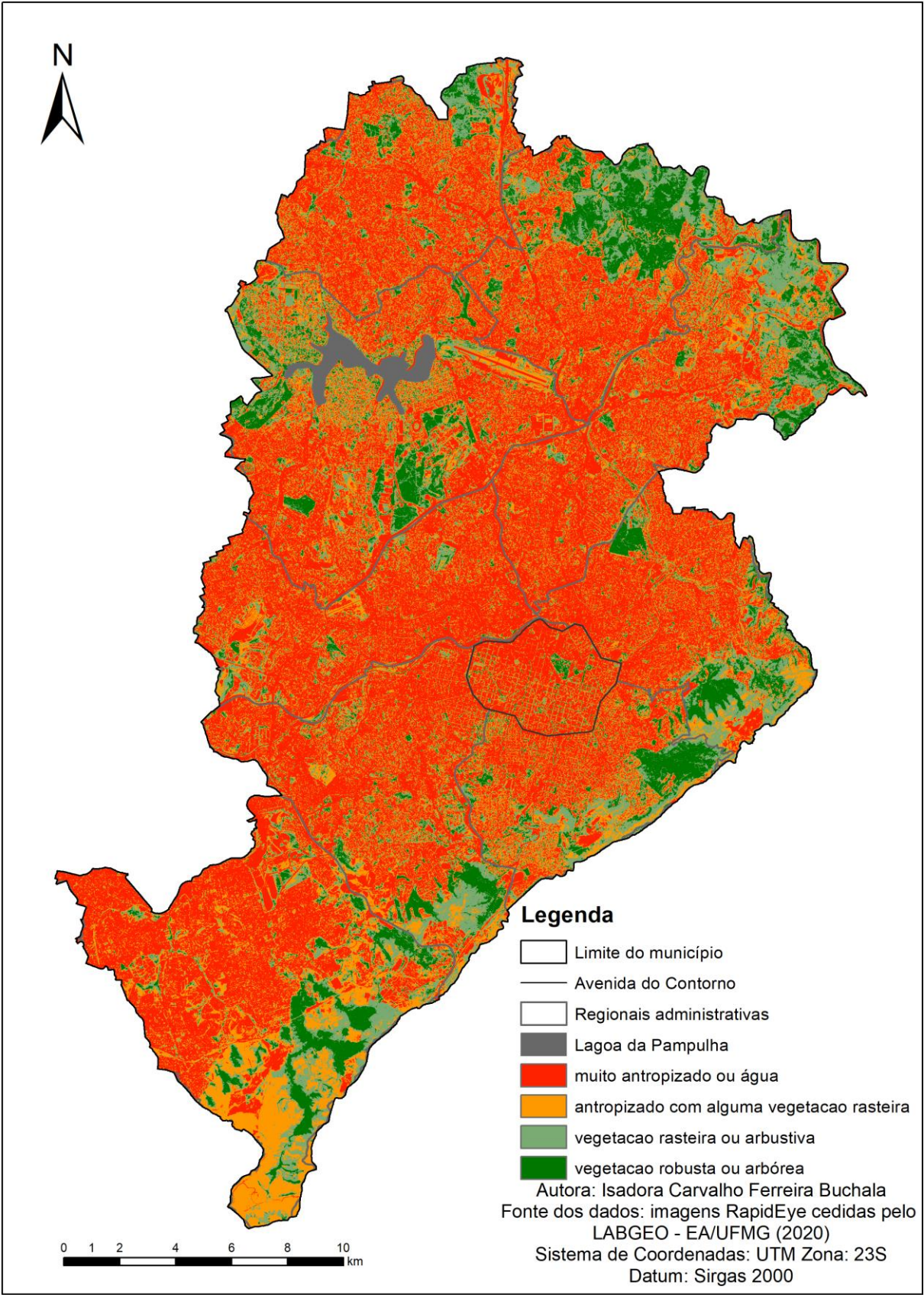




Figura 17. Variável NDVI



#### IV. Composição da camada

A camada Oferta de Recursos Naturais (FIGURA 18) é resultante de análise multicritérios por peso de evidência (MCA-PE) e dos pesos adotados para cada variável. A variável NDVI obteve maior peso por considerar a qualidade da vegetação presente no território, dado relevante à análise proposta, pois as árvores são essenciais à infraestrutura verde por suas funções ecológicas insubstituíveis (HERZOG e ROSA, 2010). Quanto mais robusta a vegetação, melhor suas funções ecológicas são desempenhadas.

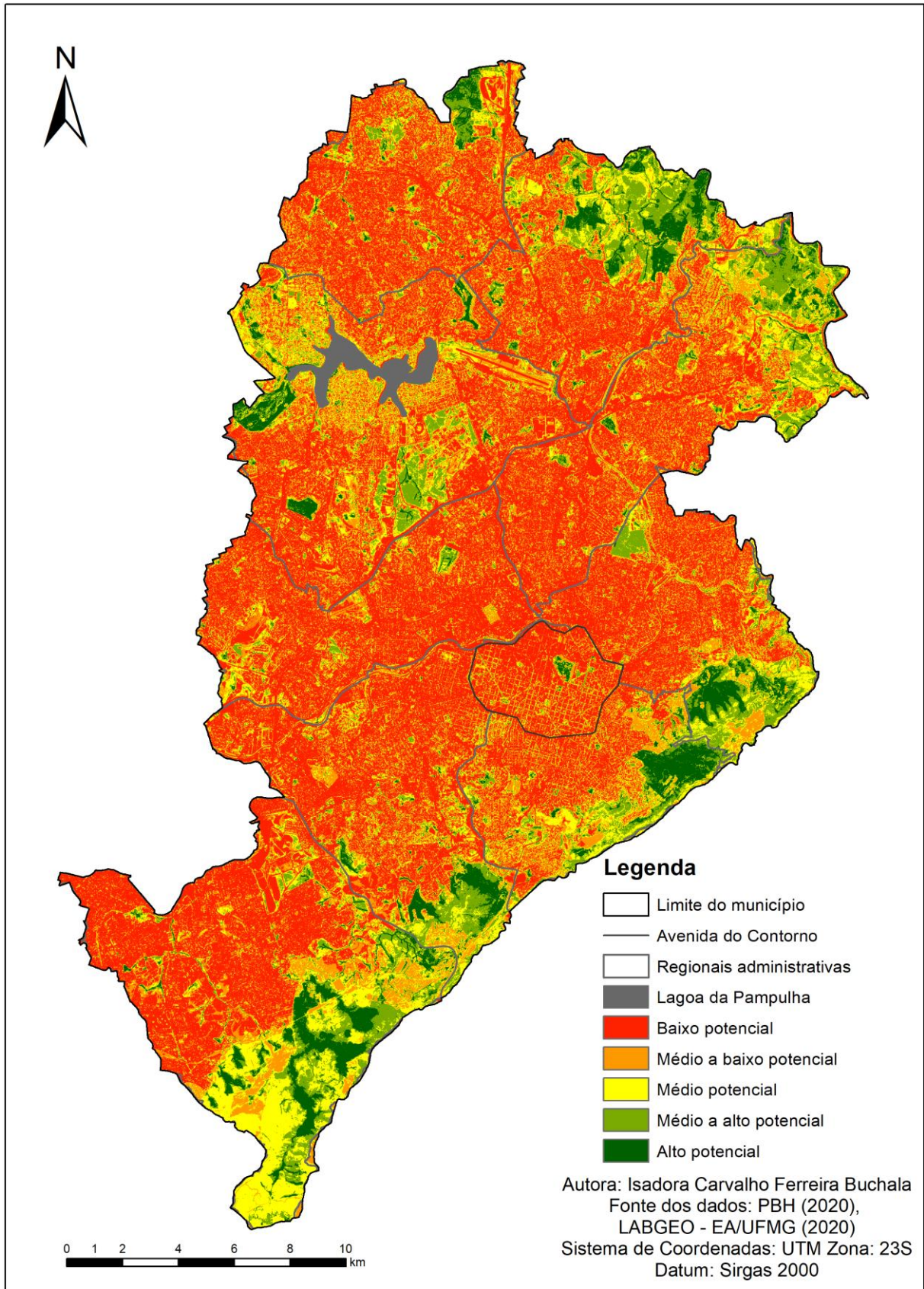
É possível confirmar que as áreas com alto potencial de recursos naturais são aquelas determinadas com alta relevância pelas variáveis Verde Institucional e NDVI. A situação do município se mostra como crítica, pois a maior parte do território apresenta baixo potencial de ofertar recursos naturais. A confluência das regionais Noroeste, Nordeste, Leste e Centro-sul é bastante preocupante, assim como a porção oeste da regional Barreiro.

Em geral, Belo Horizonte tem baixo a médio potencial de ofertar recursos naturais com exceção de algumas porções que tem médio a alto ou alto potencial presentes em áreas mais periféricas do território. No hipercentro é possível observar que a arborização viária foi um diferencial, apresentando maiores potenciais do que a maior parte da região. É importante ressaltar o caso da Lagoa da Pampulha. Na variável NDVI, a Lagoa obteve nota 0, pois é um espelho d'água e para o NDVI a água é considerada como áreas muito antropizadas. Com isso, a Lagoa obteve uma nota extremamente baixa na análise geral, como era esperado. Portanto para não haver confusões de interpretação, o espelho d'água da Lagoa da Pampulha foi desconsiderado das análises.

A oferta de recursos naturais no território é de extrema importância para a implementação de infraestrutura verde, pois áreas verdes existentes e futuras devem ser organizadas como redes verdes interconectadas (FRANCO, 2010). Portanto, havendo boa oferta de recursos naturais, o trabalho de desenvolver interconexões entre áreas naturais relevantes é mais facilitado e o redesenho da cidade será menos agressivo comparado com o existente. Além disso, quando se fala de arborização, é sabido que o sombreamento provocado pelas copas das árvores influencia diretamente na queda da temperatura superficial (SHINZATO e DUARTE, 2018). De fato, pensar em infraestrutura verde para Belo Horizonte é algo desafiador frente ao baixo potencial apresentado em grande parte do seu território, porém há oportunidades de ação nas pequenas áreas espalhadas pelo município com médio a alto e médio potencial.



**Figura 18.** Camada Oferta de Recursos Naturais





## **B. Camada Condições Antrópicas**

Essa camada considera o uso do solo por meio da densidade de ocupação de pessoas no território por meio do município de Belo Horizonte. Cada variável que compõe essa camada foi analisada e classificada em cinco faixas, sendo baixa densidade, média a baixa densidade, média densidade, média a alta densidade e alta densidade. Para esse estudo, a alta densidade apresenta o pior cenário e a baixa densidade, o melhor.

### **I. Variável Densidade de Ocupações**

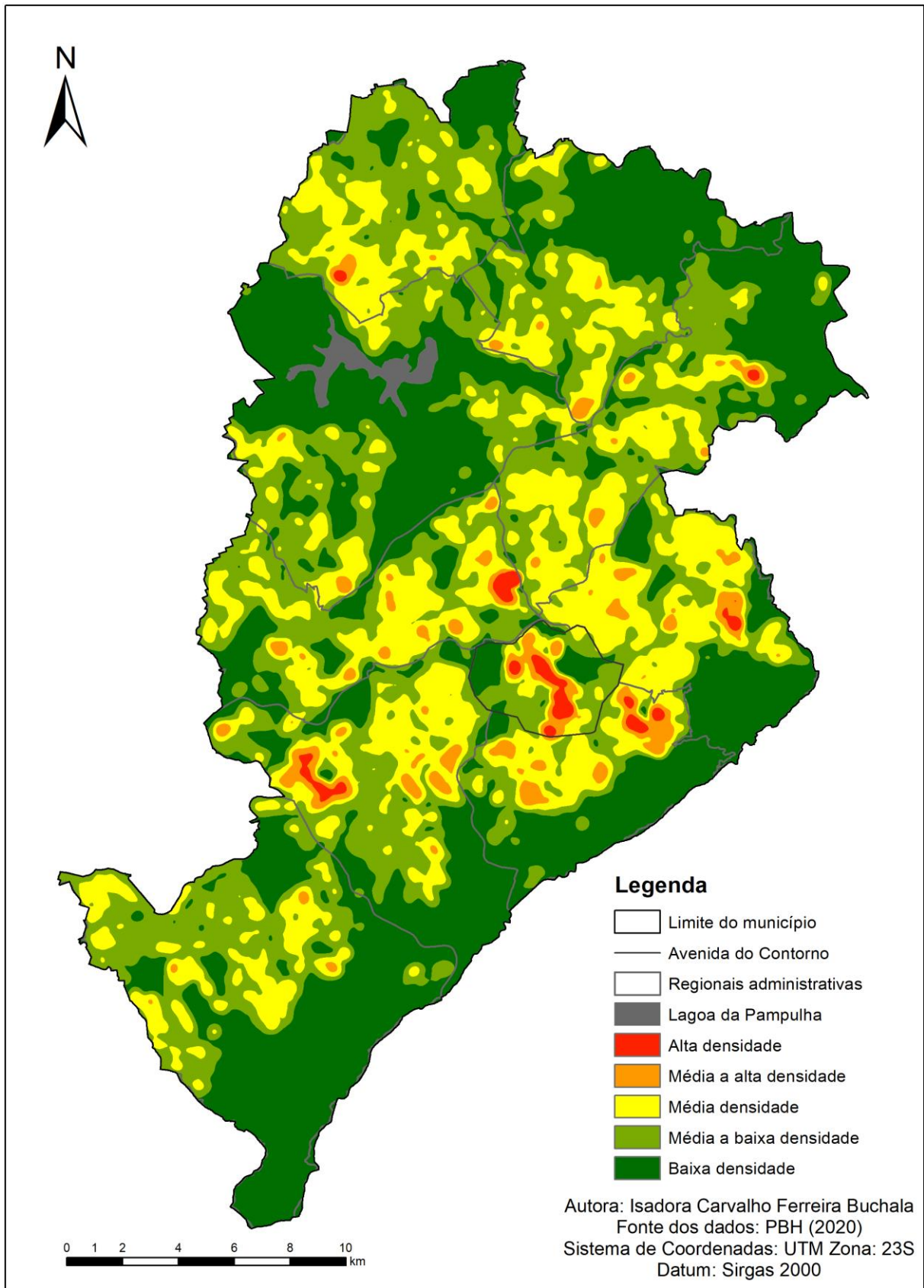
Foram analisados dados georreferenciados de ocupações que fazem uso de energia elétrica no município e recebem a conta da concessionária. As ocupações consideradas são edifícios de uso residencial, comercial e de serviços públicos a fim de compreender onde há maior fixação de pessoas no território, seja por meio de moradias ou por uso de serviços. A partir dos dados, foi realizada a densidade de Kernel, obtendo os hotspots de densidade, visto em Figura 19.

É possível perceber alguns hotspots de alta e média a alta densidade de ocupações principalmente na região mais central do município. Em geral, é percebido uma predominância de densidades média e média a baixa. Como era esperado, a maior concentração de pessoas no município se dá no hipercentro, seja pela presença de unidades habitacionais ou pela intensa oferta de comércio e serviços públicos.

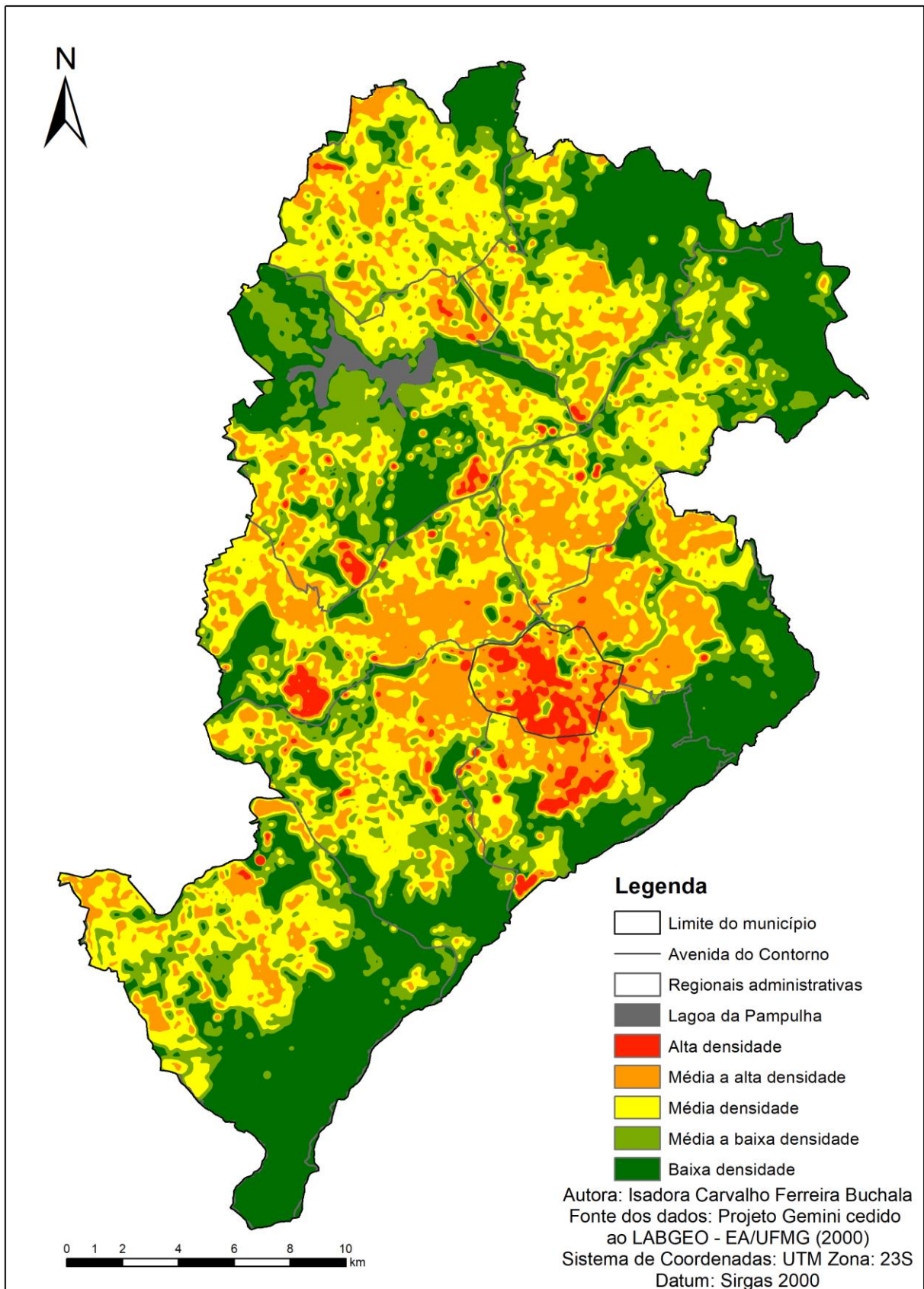
### **II. Variável Densidade de Edifícios**

No caso da variável Densidade de Edifícios, foi utilizada a projeção das edificações do município no lote. A partir da densidade de Kernel foi possível identificar as localidades com maior concentração de edificações (FIGURA 20).

As altas densidades podem ser encontradas em maior parte na regional Centro-Sul, principalmente no hipercentro. Há outros hotspots relevantes nas regionais Noroeste e Pampulha. A densidade média a alta é predominante na região central do município, sendo seguida da média densidade no restante do território.

**Figura 19.** Variável Densidade de Ocupações

**Figura 20.** Variável Densidade de Edificações



### III. Variável Densidade Volumétrica

A Densidade Volumétrica, ou geométrica, considera a projeção dos edifícios no lote juntamente com sua altura, portanto, o volume da edificação. O objetivo da variável é identificar a concentração de edifícios volumosos, podendo ser edificações muito altas ou muito extensas. Portanto, onde há alta densidade volumétrica há maior concentração de edifícios de grande volume (FIGURA 21).

Novamente a região do hipercentro se destaca apresentando as maiores densidades, assim como em algumas localidades da regional Centro-Sul apresentando alta a média e média densidade. É importante ressaltar a presença de hotspots de alta densidade ao sul da regional Centro-Sul, localidade limítrofe com o município de Nova Lima. A região é ocupada pelo bairro Belvedere que a alguns anos vem sofrendo intensa urbanização e verticalização. Alguns hotspots são observados de forma isolada nas demais regionais, com exceção da regional Venda Nova onde não foi identificado algum hotspot de maior densidade. Em geral, Belo Horizonte apresenta média a baixa densidade volumétrica.

### IV. Composição da camada

A camada Condições Antrópicas (FIGURA 22) é resultante de análise multicritérios por peso de evidência (MCA-PE) e dos pesos adotados para cada variável. Foi compreendido que as três variáveis componentes da camada têm similar relevância, pois as densidades analisadas se complementam.

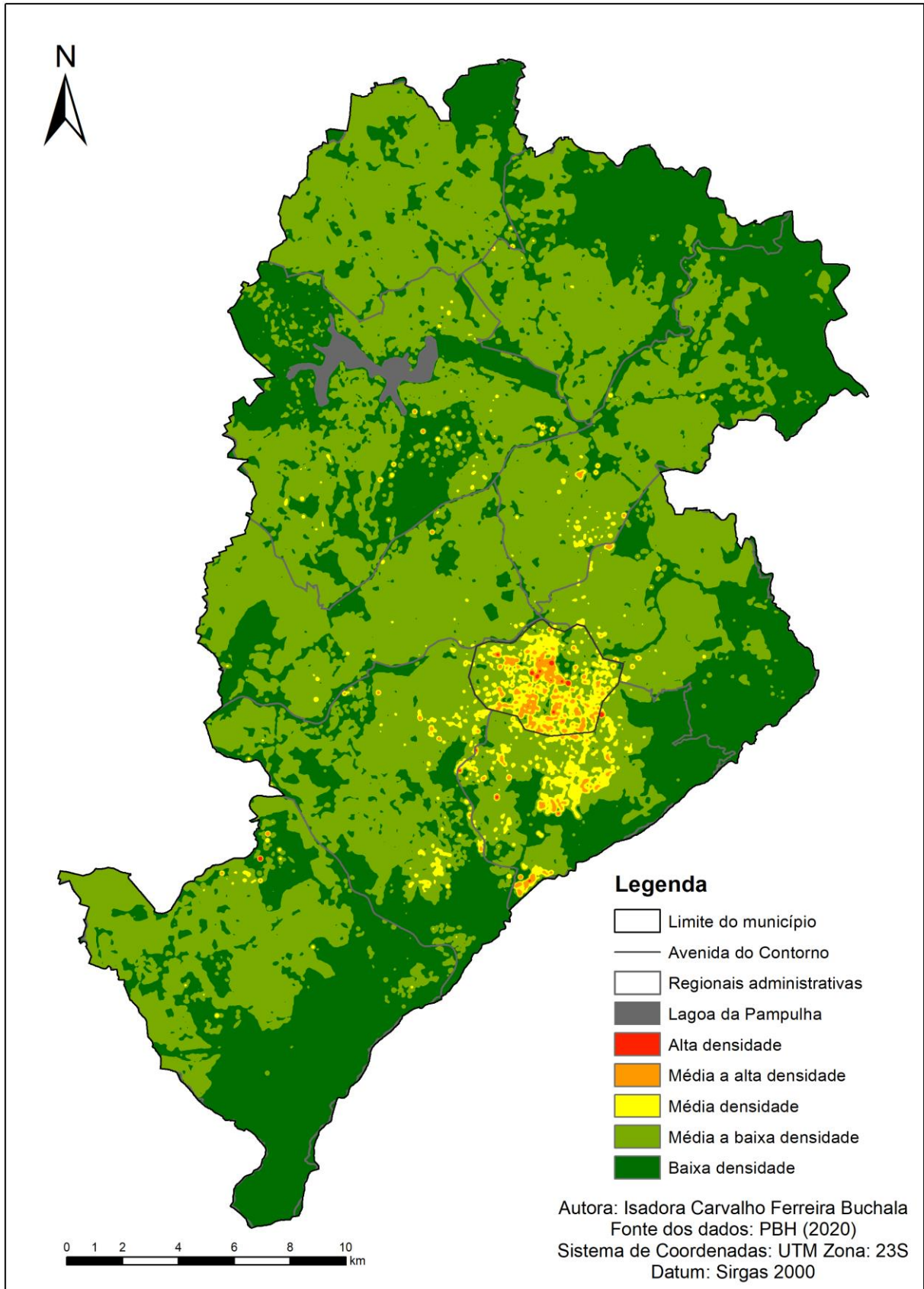
Assim como identificado na análise das variáveis, a região do hipercentro é a mais densa apresentando alta densidade em grande parte do seu território. Algumas localidades na regional Centro-Sul também apresentam alta, média a alta e média densidade. Alguns hotspots de média a alta densidade são observados nas regionais Noroeste, Nordeste, Leste e Pampulha. Em geral, a Belo Horizonte apresenta predominantemente densidade média, seguida de média a baixa densidade.

Territórios com alta densidade de uso do solo podem ser considerados vulneráveis, principalmente se não houver presença de arborização relevante. Além disso, a alta densidade não proporciona espaços livres e permeáveis, colaborando com um contexto urbano com alta temperatura superficial e baixa umidade. A densidade de edifícios é a mais preocupante dentre as variáveis, pois se determinada região há alta densidade de edifícios provavelmente há maior exposição solar, consequentemente, maiores temperaturas. Assis (2010) comenta em seu estudo sobre Belo Horizonte que as temperaturas mais elevadas coincidem com áreas densamente edificadas, impermeabilizadas e populosas da cidade. Ao contrário, baixas densidades podem proporcionar contextos de temperaturas mais amenas,

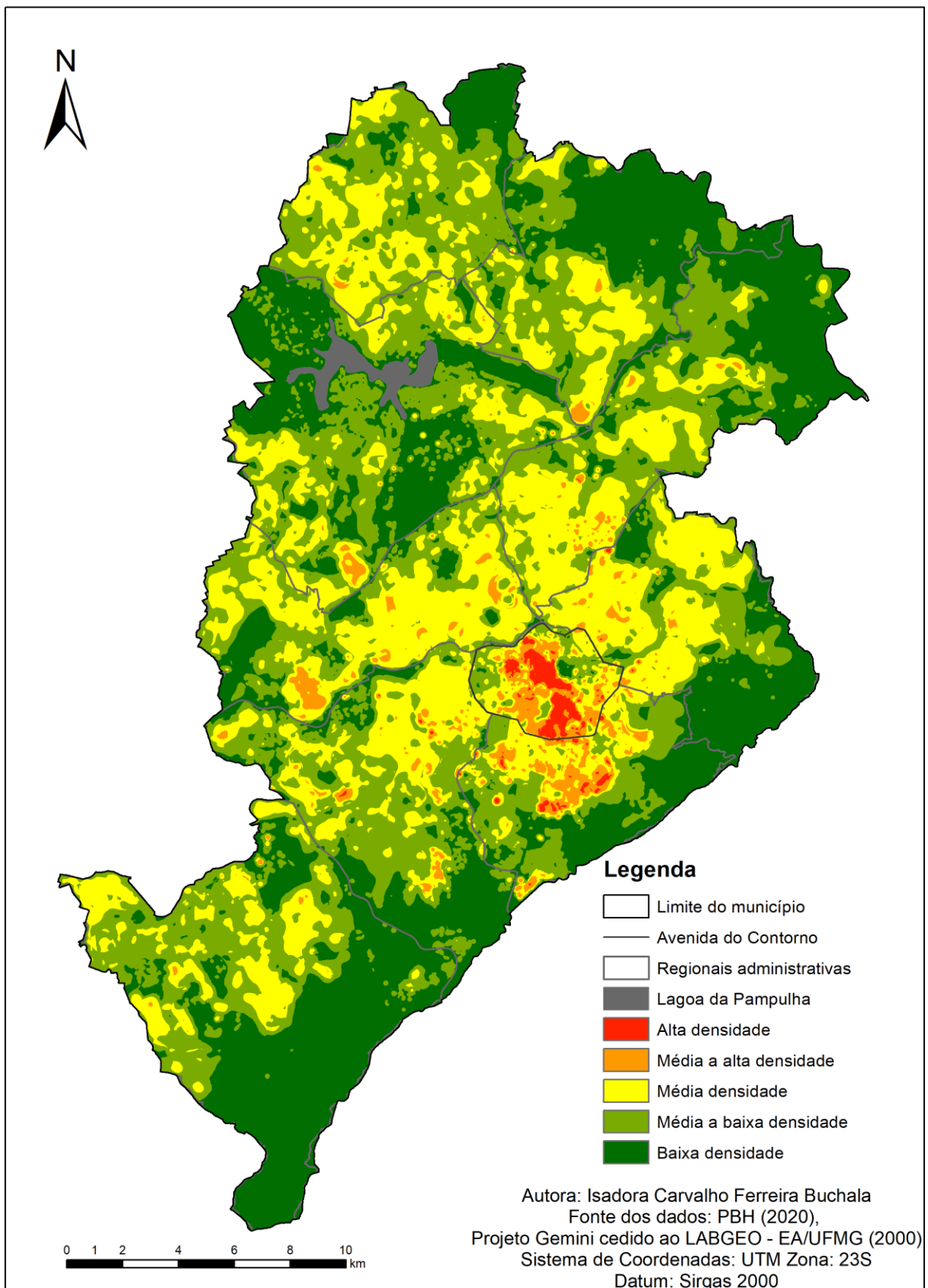
com territórios mais permeáveis e maior umidade, além de possibilitar um maior fluxo de ventos e refrescamento das edificações.



**Figura 21. Variável Densidade Volumétrica**



**Figura 22. Camada Condições Antrópicas**

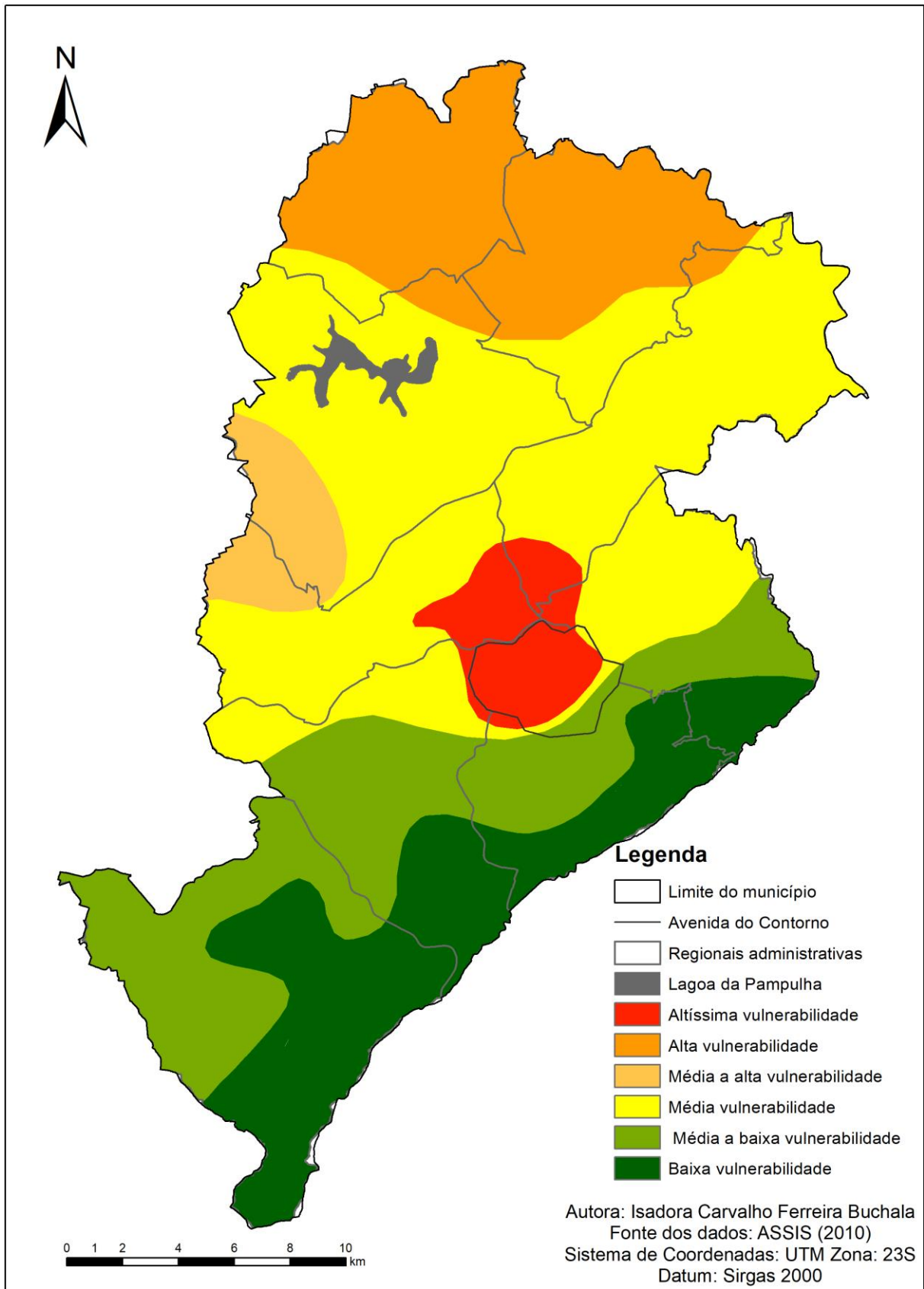


### **C. Camada Tipologias Climáticas**

A camada Tipologias Climáticas foi composta do estudo de ASSIS (2010) sobre as tipologias climáticas presentes em Belo Horizonte. Para esse estudo, foram considerados os mesoclimas. Conforme as definições de ASSIS (2010), os mesoclimas foram analisados e classificados em graus de vulnerabilidade. O mesoclima IA foi classificado com altíssima vulnerabilidade. Ele abrange a região do hipercentro e bairros periféricos imediatos. A região correspondente ao mesoclima IA é a mais impermeabilizada e verticalizada da cidade, havendo alta densidade de edificações e intenso fluxo de veículos, os principais controladores climáticos desse mesoclima. O mesoclima IB foi classificado com alta vulnerabilidade, pois abrange região de maiores temperaturas máximas e amplitudes diárias. O tempo de exposição solar desse território e o baixo índice de vegetação arbórea urbana contribui com a elevação das temperaturas. O mesoclima IC foi denominado como média a alta vulnerabilidade. Está localizado no extremo Oeste de Belo Horizonte, região com profundas modificações devido ao processo acelerado de ocupação e verticalização do território, contribuindo para a piora do conforto térmico local e da qualidade do ar. Sua topografia pouco acidentada permite grande exposição solar, elevando suas temperaturas. O mesoclima ID foi denominado como média vulnerabilidade. Sua região correspondente é a maior em termos de área do município. Os maiores corredores de tráfego da Região Metropolitana (RMBH) e da cidade de Belo Horizonte, como o Anel Rodoviário e as avenidas Antônio Carlos e Cristiano Machado, cruzam esse mesoclima contribuindo para a deterioração da qualidade do ar. Nesse mesoclima, além do uso do solo que é predominantemente residencial com baixa verticalização, são importantes controladores climáticos a topografia heterogênea e a presença de áreas verdes com grandes dimensões como o Horto Florestal, a Estação Ecológica no Campus da UFMG e o Jardim Zoológico Municipal. Conforme Assis (2010), o mesoclima ID apresenta atmosfera estável permitindo um rápido resfriamento superficial e drenagem de ar frio das áreas mais elevadas em direção aos locais deprimidos. O mesoclima IIB foi classificado com média a baixa vulnerabilidade. Importantes corredores viários estão presentes nessa região, além de haver grande contingente populacional, porém sua ocupação é mais fragmentada. É considerada uma zona de transição entre os mesoclimas ID e IIA. Por fim, o mesoclima IIA foi classificado com baixa vulnerabilidade, pois a temperatura do ar nesse mesoclima é significativamente reduzida em relação aos demais mesoclimas urbanos. Há forte influência da Serra do Curral nesse mesoclima, sendo a topografia, seu principal controlador climático. Assis (2010) recomenda ter atenção quanto à ocupação do solo nessa região, pois a alta declividade aliada a elevados índices pluviométricos geram grande potencial de deslizamentos. Além disso, a presença de novos empreendimentos, principalmente aqueles de grande volumetria, pode levar ao aumento e diminuição da umidade relativa do ar.



**Figura 23. Camada Tipologias Climáticas**



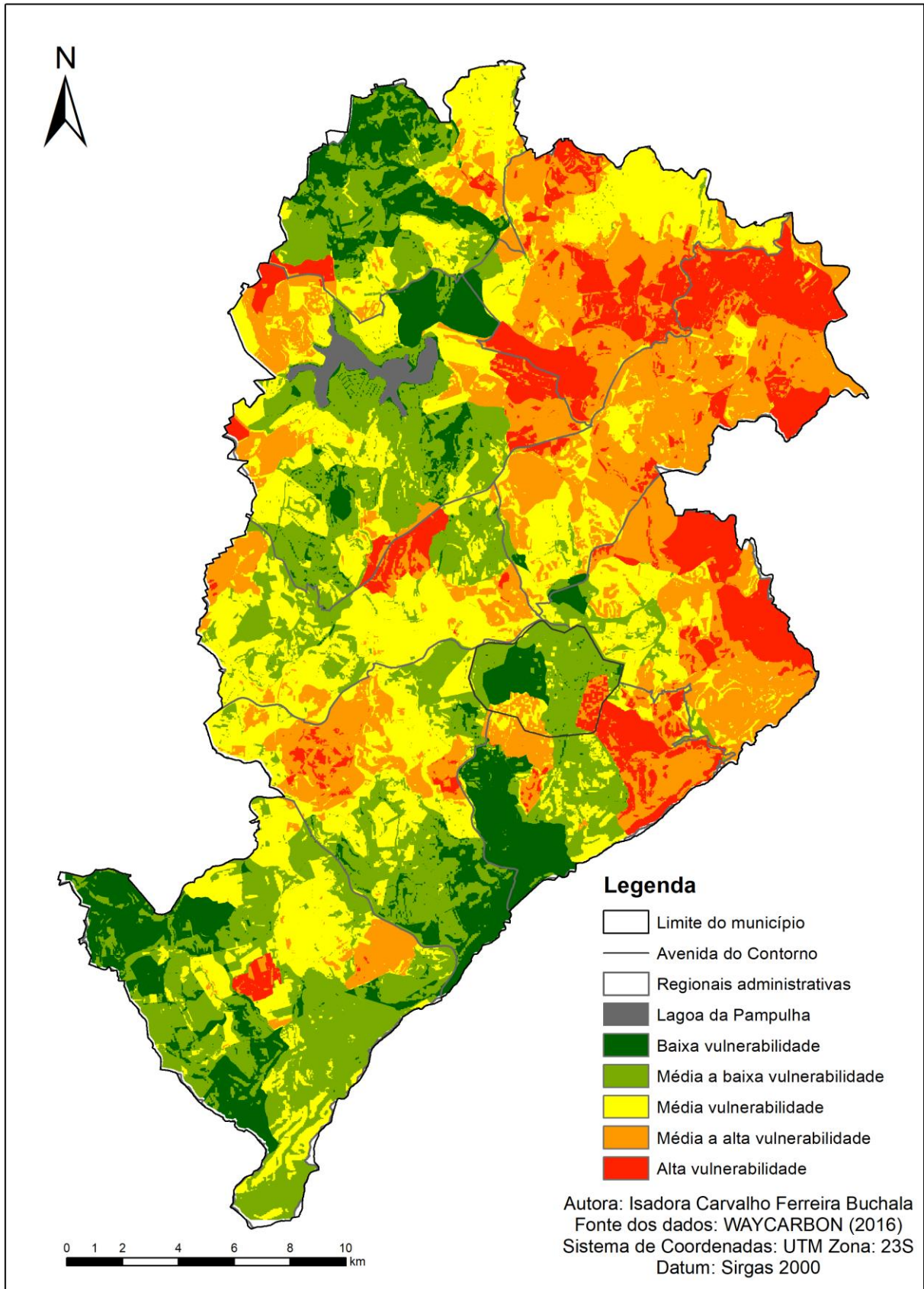
#### D. Camada Vulnerabilidade Climática

A camada de Vulnerabilidade Climática conta com a Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte (WAYCARBON, 2016). A análise é composta por índices de vulnerabilidade dos impactos considerados, sendo eles inundação, deslizamento, dengue e ondas de calor. Assim, a análise foi realizada a partir de um índice composto de vulnerabilidade, permitindo identificar as áreas mais vulneráveis do município (WAYCARBON, 2016). Para esse estudo, foi utilizado o cenário desenvolvido para o ano de 2016 a fim de entender o contexto existente em Belo Horizonte. Os níveis de vulnerabilidade foram classificados por esse estudo em alta, média a alta, média, média a baixa e baixa vulnerabilidade (FIGURA 24), facilitando a leitura e a interpretação dos dados.

É possível identificar que a porção leste do município é a mais vulnerável, apresentando média a alta vulnerabilidade. As regionais Norte, Nordeste e Leste apresentam maior número de *hotspots* de alta vulnerabilidade. As demais regionais apresentam *hotspots* de alta vulnerabilidade em menor grandeza, apresentando maiores áreas de média vulnerabilidade, média baixa e baixa vulnerabilidade. Sendo assim, pode ser considerado que o município de Belo Horizonte tem baixa capacidade de resiliência, pois mais da metade de seu território apresenta alta vulnerabilidade climática. Assim, é possível compreender que Belo Horizonte é bastante suscetível à ocorrência de eventos extremos. Segundo WayCarbon (2016), o cenário de vulnerabilidade do município piora em 65% em 2030, indicando a necessidade e a urgência de ações de aumento de resiliência urbana no município.

Tal análise reforça a relevância de investigações sobre o clima urbano e suas vulnerabilidades, pois a partir delas é possível nortear planos de ação, priorizando territórios com menor capacidade de resiliência.

**Figura 24. Camada Vulnerabilidade Climática**



## **5.2 Integração das camadas por MCA**

A integração das camadas de análise é um resultado relevante ao estudo. Cada camada foi desenvolvida envolvendo a análise dos dados e do território em questão gerando resultados preliminares, porém somente a partir da associação das camadas por meio de análises multicritérios (MCA) foi possível produzir reflexões mais robustas, agregando maior valor ao estudo.

A partir da integração realizada pela MCA pesos de evidência, foi possível gerar um ranking de áreas mais vulneráveis ou com menor capacidade de resiliência, sendo possível identificar onde a infraestrutura verde deverá ser implementada prioritariamente. A realização da MCA análise combinatória possibilita qualificar o território e compreender qual deve ser o objetivo da intervenção para que o aumento de resiliência seja alcançado pela infraestrutura verde.

### **5.2.1 Integração por MCA pesos de evidência**

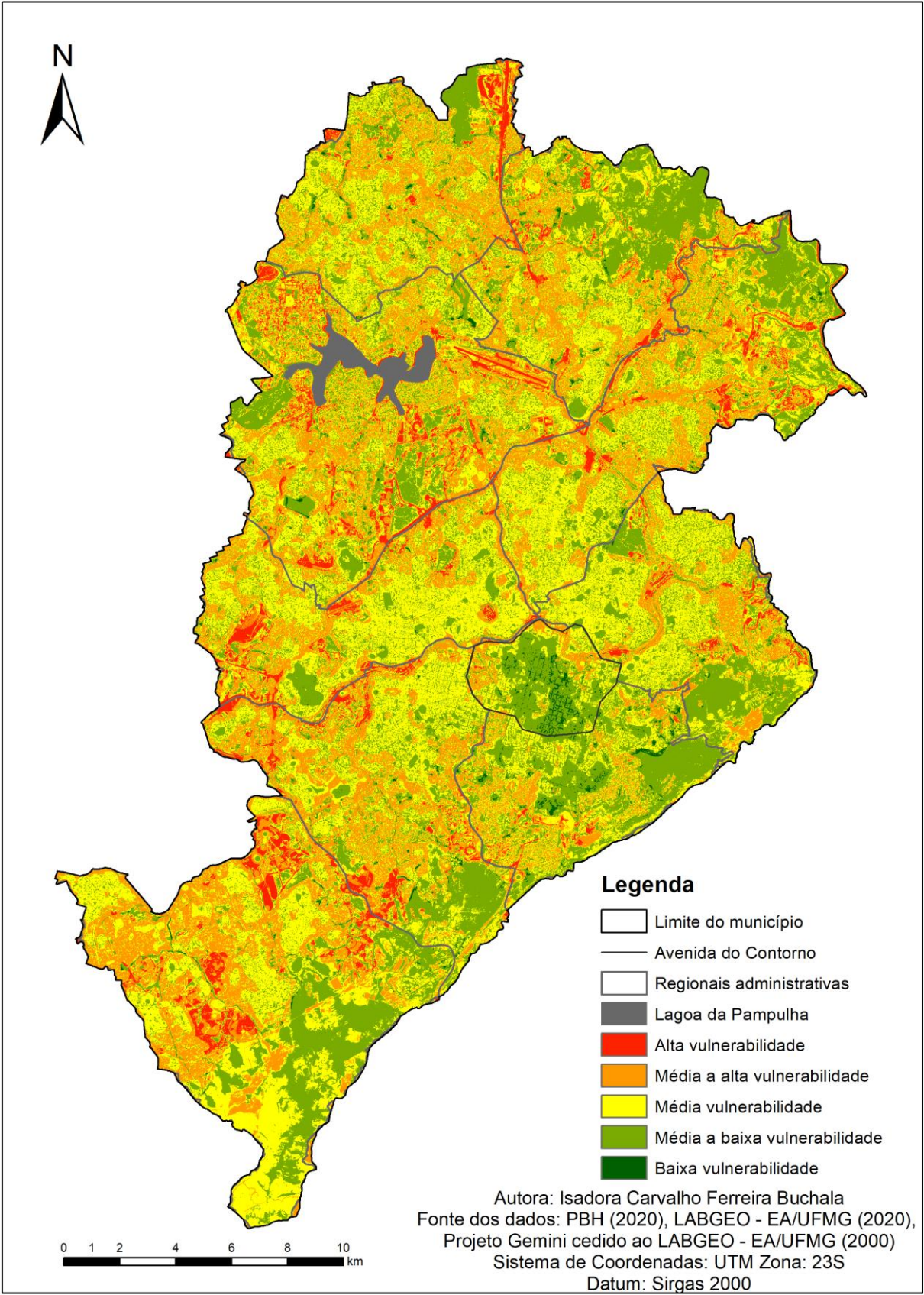
A primeira integração foi realizada entre as camadas Oferta de Recursos Naturais e Condições Antrópicas. Foi adotado peso 50 para as duas camadas. O resultado dessa integração é o mapa Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental (FIGURA 25). Por meio dessa análise foi possível identificar onde as condições de ocupação do solo causam maior vulnerabilidade ao território, visto que há potencialidades de recursos naturais presentes.

A região do hipercentro de Belo Horizonte, área no interior da av. do Contorno, é apresentada com baixa vulnerabilidade mesmo havendo alta densidade. Tal resultado se deve muito pelo fato de haver boa oferta de recursos naturais. A Regional Barreiro apresentou alta vulnerabilidade de forma mais expressiva, seguida pelas regionais Nordeste e Pampulha. A alta vulnerabilidade está presente, do mesmo modo, em eixos que permeiam a cidade. Foi notada certa similaridade entre a presença de importantes corredores viários e a alta vulnerabilidade.

Em geral, Belo Horizonte apresenta média e média a baixa vulnerabilidade quando são integradas a oferta de recursos naturais presentes no território com as condições antrópicas, ou de uso do solo. É possível perceber que onde há boa oferta de recursos naturais, porém havendo intensa ocupação do solo, continua com certa qualidade e alto potencial ambiental, apresentando condições médias a baixas de vulnerabilidade. Todavia, onde não há oferta de recursos naturais, porém, há média densidade de ocupação do solo, o potencial ambiental apresentado será mediano, assim como o nível de vulnerabilidade. Tal análise sugere sobre a importância da vegetação urbana e de demais recursos naturais presentes no território.



**Figura 25. Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental**



A partir do resultado da primeira integração entre camadas, foi realizada uma nova MCA-PE. Para a segunda integração foram selecionados o resultado preliminar anterior juntamente com as camadas Tipologias Climáticas e Vulnerabilidade Climática, gerando a análise de Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental e Climática (FIGURA 26). Esse resultado foi nomeado como o primeiro produto desse estudo.

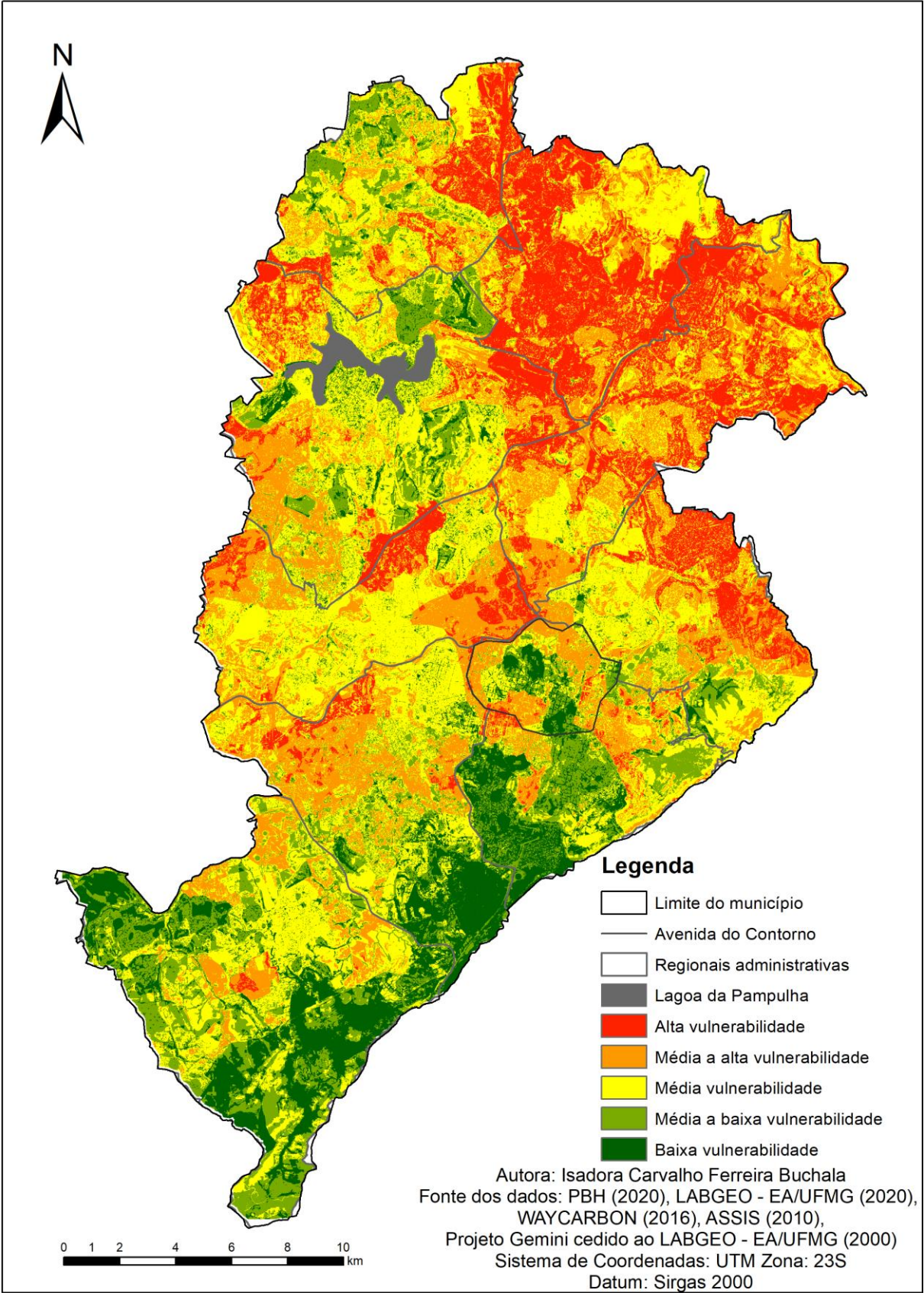
Sobre os pesos da segunda MCA-PE, foi adotado ao resultado anterior (Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental) peso 40, assim como para a camada de Vulnerabilidade Climática, pois os dados referentes apresentam as localidades com suas vulnerabilidades e potencialidades, dados relevantes para a inserção da infraestrutura verde como instrumento de aumento de resiliência urbana. A camada Tipologias Climáticas, trazendo os padrões dos mesoclimas de Belo Horizonte, obteve peso 20.

Analisando a segunda integração, é possível observar como a alta vulnerabilidade se apresenta de forma mais expressiva comparado com a MCA-PE anterior. A alta vulnerabilidade apresentada na análise anterior estando mais limitada a grandes corredores viários foi espalhada para regiões mais extensas, principalmente nas regionais Norte e Nordeste. É importante notar a alta vulnerabilidade em porções relevantes das regionais Leste e Venda Nova, Pampulha e Noroeste. A Regional Barreiro que contava com *hotspots* de alta vulnerabilidade, agora se apresenta com níveis mais baixos de vulnerabilidade. Muito se deve pelo fato de a região estar localizada em mesoclima com melhores condições, aumentando a potencialidade do território. O hipercentro, antes com média a alta vulnerabilidade e grande parte com baixa vulnerabilidade agora apresenta maiores regiões com média a alta e *hotspots* importantes de alta vulnerabilidade. A baixa vulnerabilidade tem maior predominância nas regionais Oeste e Barreiro, principalmente no extremo sul do município, localidade próxima à Serra do Curral.

Por meio da segunda integração, ou seja, o Produto 1 desse estudo, pode ser compreendido que Belo Horizonte é de fato uma cidade com baixa capacidade de resiliência, com exceção da porção sul do município que apresenta níveis de vulnerabilidade mais baixos. É perceptível como as condições climáticas dos mesoclimas urbanos de Belo Horizonte e as vulnerabilidades vivenciadas no município diminuem o potencial dos recursos naturais presentes. As condições de uso do solo geram vulnerabilidades aos recursos naturais, contudo o clima urbano intensifica de fato as vulnerabilidades do território.



**Figura 26.** Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental e Climática (Produto 1)



### 5.2.2 Integração por MCA análise combinatória

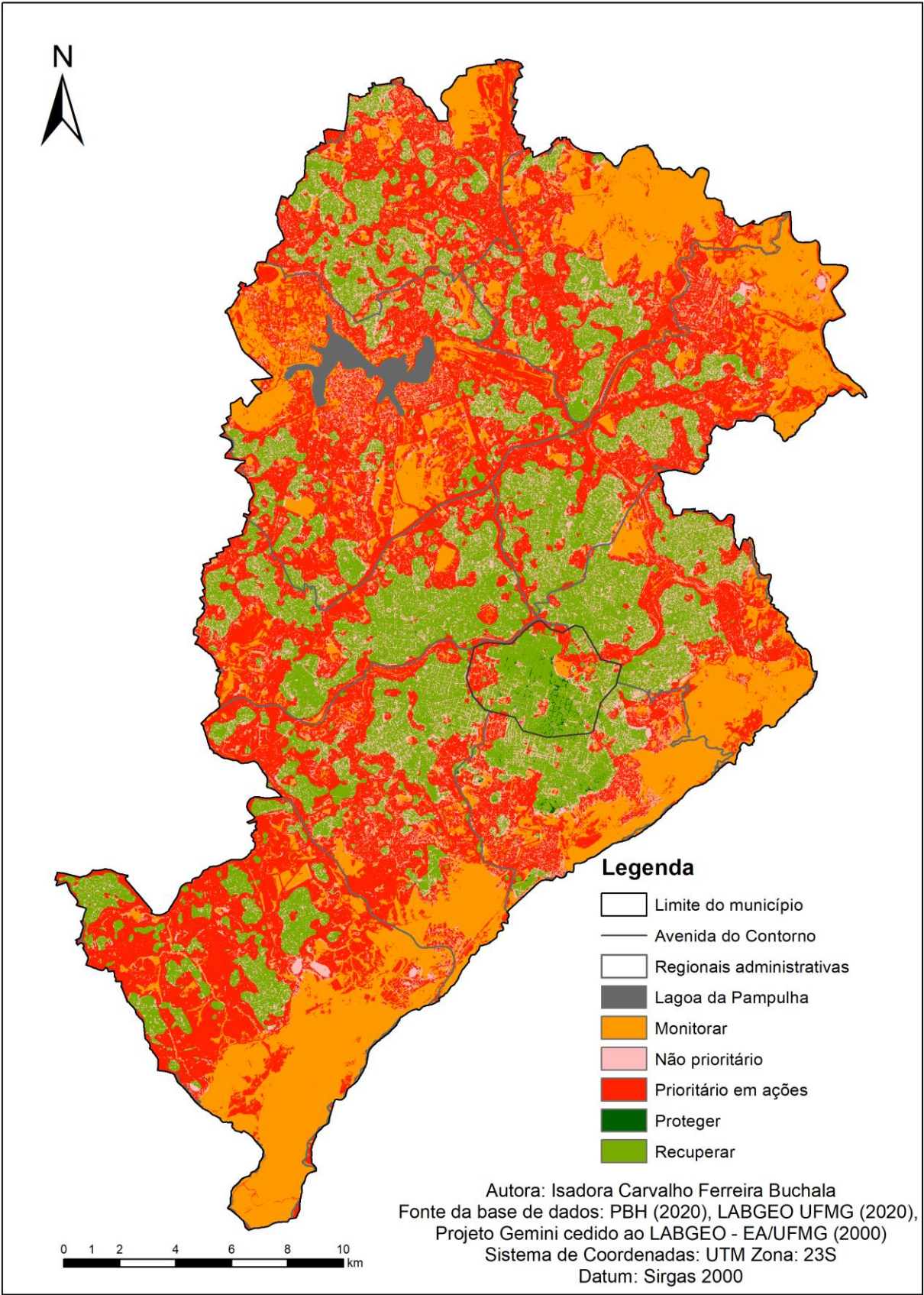
A primeira integração por MCA-AC foi realizada entre as camadas Oferta de Recursos Naturais e Condições Antrópicas, assim como na MCA-PE. O resultado dessa integração é a Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas (FIGURA 27). Por meio dessa análise foi possível qualificar a interação da camada Condições Antrópicas na camada Oferta de Recursos Naturais, ou seja, entender o impacto da ocupação do solo nos recursos naturais existentes. A partir da combinação entre os níveis de vulnerabilidade referente a ocupação territorial e o potencial de recursos naturais foi compreendida a necessidade de cinco ações a serem realizadas no território: Monitorar, Não prioritário, Prioritário em ações, Proteger e Recuperar.

A região do hipercentro apresenta em maior parte a necessidade de Recuperar, indicando que há espaço para recuperar a vegetação, porém também apresenta a prioridade em ações em algumas áreas sendo de extrema importância realizar intervenções. É importante observar a ação Monitorar. Ela é apresentada na localidade do Parque Municipal Américo Renné Giannetti, indicando a necessidade de haver monitoramento do potencial natural ofertado, garantindo a sua manutenção. Ainda no hipercentro, há uma pequena porção indicando a necessidade de Proteger, sendo necessário proteger a vegetação existente e controlar o uso do solo para não haver supressões. A ação Proteger também está presente em pequenas áreas da regional Centro-Sul. Extensas regiões foram classificadas como Monitorar, principalmente nos limites do município, incluindo a Serra do Curral. São áreas com alto potencial de vegetação e recursos naturais, porém sofrem pressões da expansão urbana, sendo necessário acompanhar os níveis de vegetação local. Nessas regiões, é importante contar com políticas públicas que ordenem a expansão urbana de forma mais sustentável. São identificadas áreas prioritárias a ação na Serra do Curral, mais especificamente em localidades como o bairro Belvedere, conhecido por sua rápida urbanização e verticalização. Há pequenas áreas sinalizadas no município como um todo como não prioritárias, sendo locais onde não é primordial a execução de intervenções no momento.

É percebido que Belo Horizonte conta com diversas áreas classificadas como prioritárias a ação, indicando que há um número elevado de áreas onde as condições ambientais não são adequadas. Assim como em outras análises, é percebida certa similaridade entre a localização de importantes corredores viários e áreas prioritárias a ação. A presença de grandes áreas a Recuperar e a Monitorar indicam que há locais onde há alto potencial de recursos naturais ou é possível recuperar esses recursos. Assim, Belo Horizonte se mostra bastante diversa em suas necessidades, sendo preciso adequar suas políticas públicas para cada local conforme suas condições e demandas.



**Figura 27.** Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas



A partir da Caracterização das Ocorrências Naturais e Antrópicas foi realizada a segunda MCA-AC, incluindo na análise anterior a camada Tipologias Climáticas e resultando em Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas (FIGURA 28). Nessa análise foi possível combinar as ações Monitorar, Não prioritário, Prioritário em ações, Proteger e Recuperar com os seis mesoclimas urbanos de Belo Horizonte e suas características presentes na camada de Tipologias Climáticas. A partir da combinação, foi percebida a necessidade de incluir níveis nas ações determinadas para que a análise atendesse melhor as demandas de cada local. Assim, foi obtido dois níveis de Monitorar, dois níveis de Não prioritário, três níveis de Prioritário em ações e três níveis de Recuperar. A ação Proteger conta com apenas um nível, pois foi compreendido que independente das condições climáticas locais, é extremamente necessário proteger os recursos naturais existentes no território.

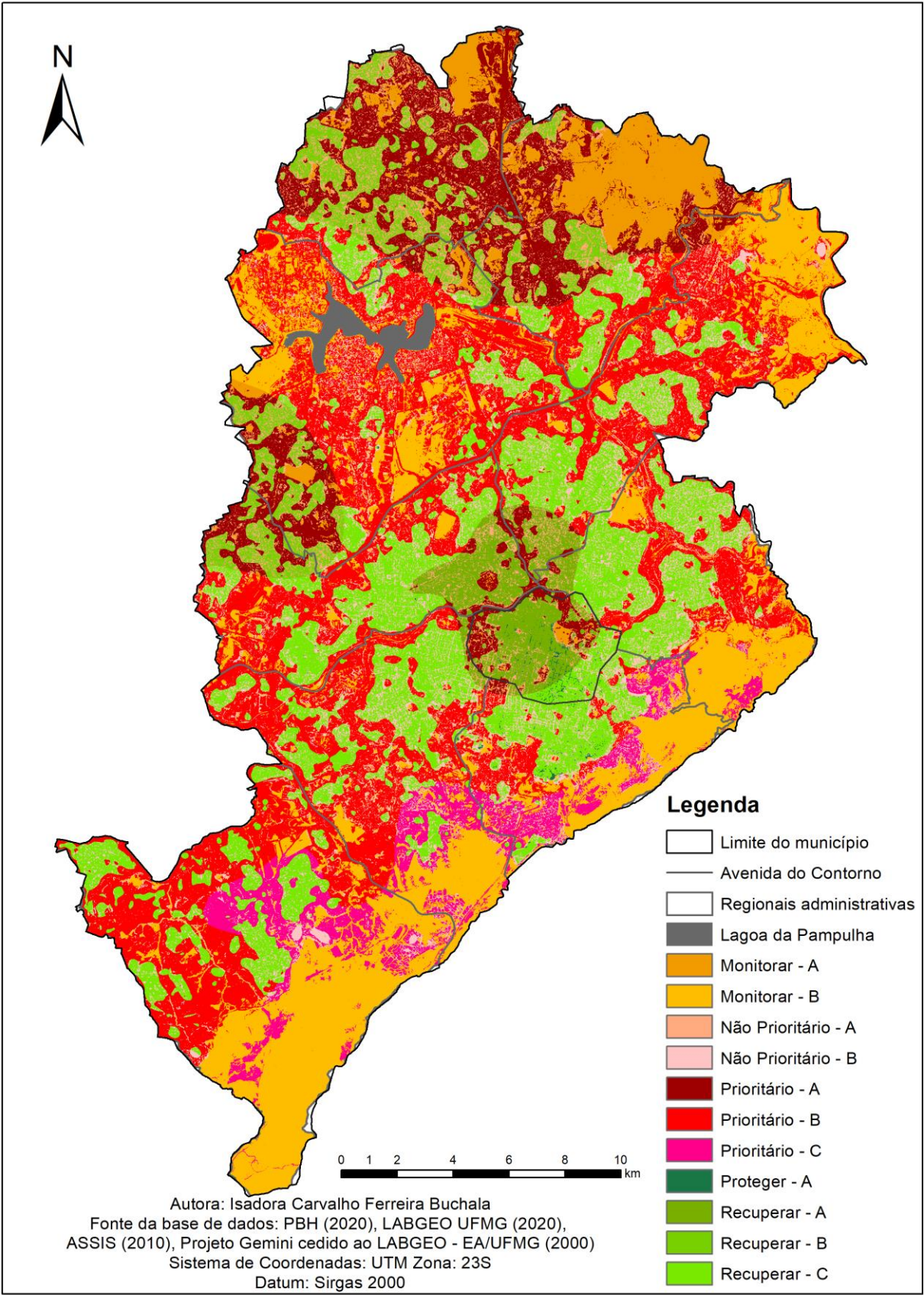
A região do hipercentro continua apresentando as necessidades de Recuperar, Monitorar e áreas prioritárias a ação, principalmente nos níveis mais elevados. A necessidade de Proteger está presente apenas em pequenas áreas na região do hipercentro e em pequenas localidades da regional Centro-Sul. A Serra do Curral continua apresentando a ação Monitorar e áreas com prioridade em ações, agora no nível C, um menor nível de prioridade, porém ainda assim, preocupante.

É percebido que a camada Tipologias Climáticas influenciou de forma relevante na análise. As localidades com os mesoclimas mais quentes, IA, IB e IC, apresentam os maiores níveis em todas as ações, aumentando a necessidade de acompanhar as condições ambientais locais e realizar intervenções para a melhoria da qualidade ambiental e climática.

Se faz necessário observar que o município apresenta áreas prioritárias a ação de forma expressiva em seus três níveis, estando o nível B com maior destaque. Ainda é possível fazer um paralelo entre a localização de corredores viários e a prioridade de intervenções, principalmente no nível Prioritário A e B. Monitorar está bastante presente no território em seus dois níveis, assim como a ação de Recuperar.



**Figura 28.** Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas



Após a análise anterior, foi realizada uma terceira MCA-AC desenvolvida a partir da combinação dos Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas e Tipologias Climáticas com a camada Vulnerabilidade Climática. Tal MCA-AC resultou em Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas, de Clima e Vulnerabilidade Climática (FIGURA 29), sendo esse o Produto 2 desse estudo. Foram combinadas as ações Monitorar, Não prioritário, Prioritário em ações, Proteger e Recuperar em todos seus níveis com o grau de vulnerabilidade climática (alta, média a alta, média, média a baixa e baixa) do município de Belo Horizonte. Cada ação continuou com seus níveis de necessidade e Proteger permaneceu com apenas um nível, pois é necessário proteger os recursos naturais existentes independente de qualquer condição ambiental ou climática.

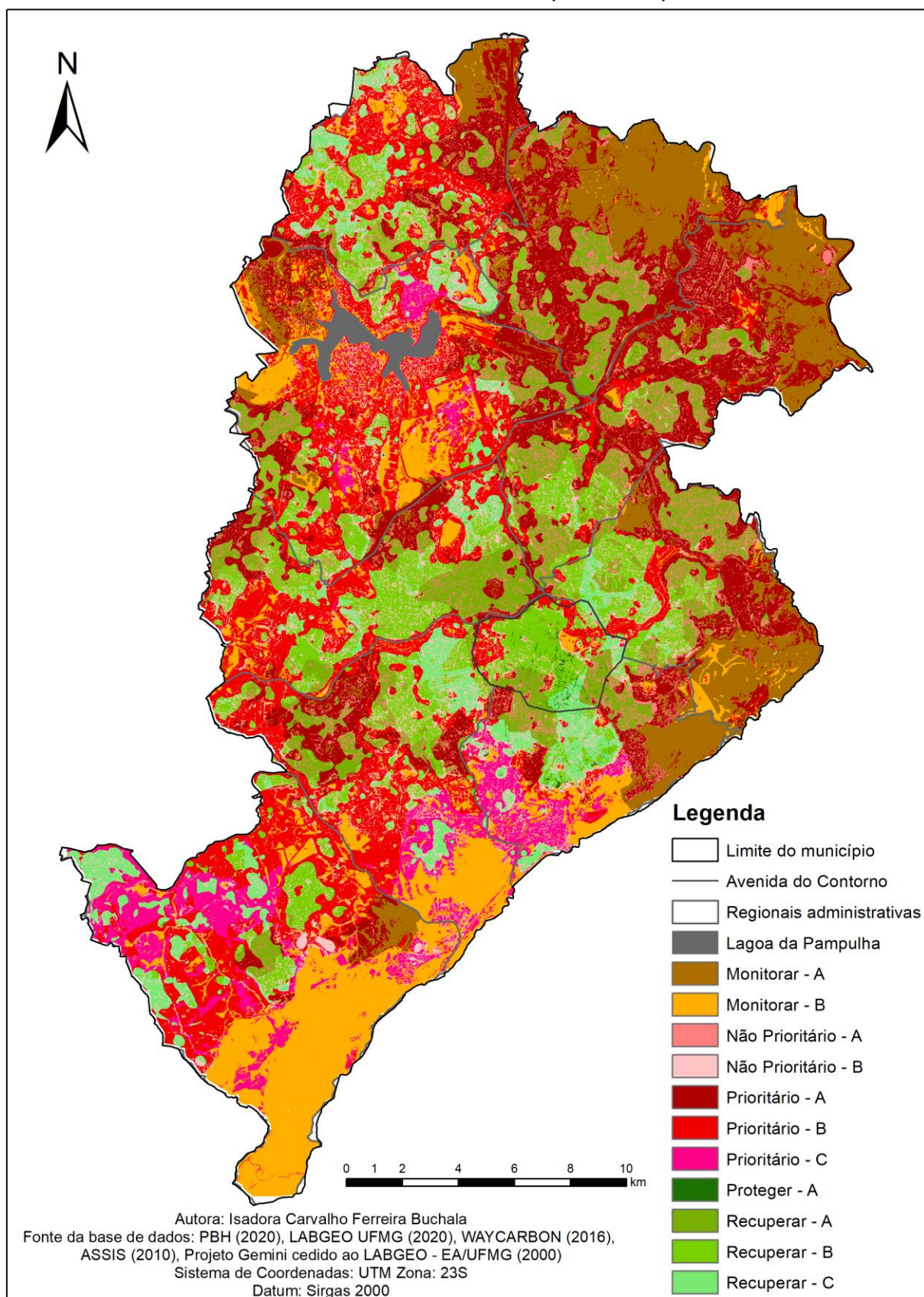
Conforme a análise da combinação, os níveis A de cada ação foram mantidos quando combinados com alta, média a alta e média vulnerabilidade, pois foi compreendido que nesses casos há baixa capacidade de resiliência do território. Quando os níveis B de cada ação e C de Recuperar e Prioritário foram combinados com as vulnerabilidades alta e média a alta, se tornaram de nível A.

A região do hipercentro se estabelece em sua maior parte com a ação Recuperar B principalmente, apresentando menores áreas em Recuperar A, Prioritário A, Prioritário B, Monitorar B e áreas menores ainda com Não Prioritário B. A regional Pampulha apresentou condições ligeiramente melhores nessa análise em determinadas áreas, pois de Prioritário B foi para Prioritário C. A mesma alteração ocorreu na regional Barreiro.

Apesar disso, no geral, foi possível perceber uma piora considerável do contexto de Belo Horizonte com a inclusão da camada Vulnerabilidade Climática. Praticamente toda a porção Leste do município apresenta os níveis mais altos de cada ação, estando em maior destaque as áreas Prioritárias, Monitorar e Recuperar. Mais uma vez foi possível relacionar a presença de áreas prioritárias com importantes eixos viários do município e da RMBH, estando essas localidades em Prioritário A e B.



**Figura 29.** Arranjos Especiais das Ocorrências Naturais, Antrópicas, de Clima e Vulnerabilidade Climática (Produto 2)



### 5.3 Conclusões

A partir do estudo realizado foi possível obter resultados relevantes à revisão bibliográfica. Foram mapeadas áreas com maior potencial de recursos naturais presente no município de Belo Horizonte/MG e relevantes à composição de infraestrutura verde. As áreas com recursos naturais expressivos, seja de arborização ou corpos d'água, podem desempenhar papel de ancoragem para a formação de uma rede interconectada de áreas naturais. Por meio do desenvolvimento da camada Oferta de Recursos Naturais (FIGURA 18), foi possível obter um ranking das áreas com maior e menor potencial. O mapeamento de áreas com recursos naturais e seus níveis de potencialidade gera um conhecimento sistematizado que até então era inexistente ou estava somente na opinião e na vivência pessoal de técnicos da municipalidade e pesquisadores do município. Tal conhecimento se faz relevante, pois qualificado e detalhado, auxilia a compreensão sobre como implementar uma rede de infraestrutura verde em Belo Horizonte. Assim, com o ranking, as áreas de maior potencial podem ser compreendidas como os hubs da infraestrutura verde a ser implementada no município, os principais pontos focais da rede (FIGURA 2). As áreas de médio potencial ou áreas menores podem ser sites, não formando uma conectividade direta com o restante da rede, mas contribuindo para o fornecimento de serviços ecossistêmicos.

Os resultados do modelo analítico desenvolvido oferecem uma série de informações relevantes ao planejamento urbano de Belo Horizonte que apoiam uma política de uso do solo com o viés de aumento da capacidade de resiliência urbana. As localidades mais vulneráveis foram classificadas (Produto 1) e qualificadas (Produto 2) conforme suas demandas de ação gerando análises mais detalhadas sobre o território de Belo Horizonte se comparado com estudos anteriores. O conhecimento obtido por meio dos produtos desenvolvidos pode ser um importante norteador para tomadores de decisão e planejadores urbanos, pois possibilita a priorização das áreas do município para a elaboração de políticas públicas mais direcionadas para cada região e sua respectiva demanda. É de conhecimento da comunidade científica que os serviços ecossistêmicos são vitais para a sobrevivência humana no ecossistema antropizado em que vivemos. As cidades se tornam cada vez mais vulneráveis, pois o planejamento urbano executado não prioriza a manutenção de oferta dos serviços ecossistêmicos. Portanto, compreender a vulnerabilidade de cada localidade pode auxiliar a entender como aumentar a provisão dos serviços ecossistêmicos. A infraestrutura verde é um instrumento adaptável aos objetivos de determinado território (BONZI, 2017), pois conta com diversas tipologias em diferentes escalas, sendo que as escalas podem ser articuladas entre si, tornando-se interescalar. Por isso, o planejamento de implementação de infraestrutura verde pode proporcionar múltiplas funções ambientais com a provisão de serviços ecossistêmicos em diferentes categorias (SOLERA, 2020). Desta forma, contar com

material científico detalhado sobre o território e suas vulnerabilidades como os resultados obtidos por essa pesquisa contribui ao planejamento de estratégias como a infraestrutura verde e demais soluções visando o aumento de resiliência urbana.

Os passos metodológicos adotados para essa investigação possibilitaram análises extremamente relevantes, além da obtenção de resultados que atendem e extrapolam os objetivos colocados inicialmente. Foi estudada uma extensa bibliografia sobre os conceitos trabalhados e identificadas diversas lacunas, sendo uma delas, a escassez de orientações práticas à novos estudos e boas práticas ao planejamento urbano. Pesquisas recentes e até mesmo políticas urbanas visando o aumento de resiliência urbana existentes resultam em recomendações somente teóricas ou se baseiam na experiência dos pesquisadores envolvidos, o que impede o compartilhamento de conhecimento e sua replicação em outros territórios, não contribuindo de fato com a problemática imposta às cidades. A partir do desenvolvimento dos passos metodológicos desse estudo foi possível avançar metodologicamente objetivando dados, indicativos e demais questões essenciais à investigação sobre infraestrutura verde em cidades consolidadas. A utilização de análise multicritérios foi essencial ao estudo. Além disso, a combinação de análise multicritérios por peso de evidência e análise combinatória não foi identificada em outras pesquisas recentes, dando a esse estudo certo teor de inovação.

O modelo analítico desenvolvido trouxe avanços ao conhecimento consolidado. A base do modelo foi a teoria da análise multicritérios. Foram utilizados dados georreferenciados existentes no município, em sua maioria. Os dados que não estavam disponíveis pela municipalidade foram preparados pela autora, cedidos por WayCarbon (2016), Assis (2010) e pela academia por meio do Laboratório de Geoprocessamento da UFMG. Assim, a investigação foi prática e com baixo valor de investimento, visto que não foi necessário realizar medições in loco. O tratamento dos dados foram realizados em Sistema de Informação Geográfica - SIG por meio das ferramentas do software ArcGis 10.5, podendo ser utilizado também o software QuantumGis, gratuito e de conhecimento dos técnicos da Prefeitura de Belo Horizonte. O modelo de análise multicritérios foi capaz de responder as necessidades colocadas por essa investigação, resultando produtos úteis e análises detalhadas de todo o processo. Desse modo, é possível dizer que houve avanços na utilização de modelos analíticos em SIG com a finalidade de investigar problemas urbanos e desenvolver recomendações sobre a implementação de infraestrutura verde em Belo Horizonte.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo lidou com determinadas problemáticas do planejamento urbano ainda praticado de forma expressiva nas cidades brasileiras. Planejar as cidades do século XXI para atender as demandas e necessidades deste século é de extrema importância para garantir a segurança das comunidades urbanas. As mudanças do clima global, recentemente denominada de emergência climática, ocasionam diversos impactos negativos de forma cada vez mais frequente que atingem as cidades e suas populações. A fim de tornar os centros urbanos menos vulneráveis a tais eventos, é preciso investir em ações de adaptação e aumento da capacidade de resiliência tendo como objetivo o fortalecimento dos serviços ecossistêmicos.

É sabido que a infraestrutura verde é um instrumento de planejamento da paisagem e de território importante ao planejamento urbano, porém há desafios a serem vencidos. Há pesquisas teóricas sobre infraestrutura verde que lidam com o conceito de forma errônea, provocando confusões metodológicas e falta de consenso sobre a teoria. Além disso, não há base teórica para que planejadores e municipalidades possam implementar infraestrutura verde nos territórios, pois é escasso o número de estudos que desenvolvem recomendações práticas de sua implementação em cidades brasileiras.

Com isso, esse estudo objetivou desenvolver um modelo de análise multicritérios para a elaboração de mapa considerando áreas significativas à constituição de infraestrutura verde urbana tendo como caso de estudo a cidade de Belo Horizonte/MG. Como objetivos específicos, o estudo buscou 1) identificar serviços ecossistêmicos que tenham relação com a infraestrutura verde, servindo de norteadores a elaboração dos critérios da investigação, 2) identificar áreas onde a arborização urbana e demais recursos naturais têm relevância ao tecido urbano e ao microclima de Belo Horizonte, 3) identificar as áreas mais vulneráveis no município onde há a oportunidade de implementação de infraestrutura verde como ferramenta estratégica de aumento de resiliência urbana e 4) aplicar ferramentas de geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfico – SIG para o desenvolvimento do modelo analítico, resultando em recomendações de ação à planejadores urbanos e tomadores de decisão. Quando observados os resultados do estudo é compreendido que os objetivos colocados foram alcançados e até mesmo ultrapassados pelo fato de os produtos terem gerado conhecimento rico e detalhado sobre o caso de estudo.

Ademais, foi desenvolvida uma metodologia própria para o desenvolvimento do modelo analítico. Por não haver bibliografia existente que especifique estudos de infraestrutura verde com teor mais prático e utilizando dados atuais de um caso de estudo, foi necessário utilizar o que é conhecido da teoria e integrar dados e métodos de formas distintas do convencional trazendo certo teor de ineditismo ao estudo. A metodologia e seus passos possibilitaram o desenvolvimento do modelo



de análise multicritérios, resultando em dois produtos que se complementam e produzem recomendações detalhadas que servem como base à futuras intervenções no território de Belo Horizonte e refinamento do planejamento urbano executado atualmente no município. Os resultados do estudo podem apoiar o detalhamento do último Plano Diretor aprovado em Belo Horizonte visto que o novo Plano busca incentivar a implementação de infraestrutura verde no município. Apesar do seu ineditismo, a metodologia desenvolvida é de fácil manuseio, pois é intenção desse estudo que ela seja replicada em outros casos de estudo e em diferentes escalas de investigação. É importante destacar que a intenção deste estudo era de investigar a temática proposta se utilizando de ferramentas de geoprocessamento. Para a aplicação desse estudo em políticas públicas, de fato, se faz necessário sintetizar as análises, os dados e produtos resultantes em um Resumo Executivo para tomadores de decisão a fim de facilitar a compreensão do conhecimento gerado para gestores públicos e pessoas em geral.

Os limites encontrados são referentes a oferta de dados georreferenciados. Há relevante dificuldade em encontrar dados atualizados sobre arborização urbana viária e dados quantitativos climáticos para a cidade de Belo Horizonte, como por exemplo, dados sobre o clima urbano, tipos de solo, direcionamento de ventos, dentre outros. A oferta de dados georreferenciados pode ser ainda mais escassa em municípios de menor porte, sendo necessário um esforço maior nas etapas de coleta e tabulação de dados.

Posto isso, é possível identificar algumas limitações no estudo em questão. O modelo de análise multicritérios poderia ter gerado resultados ainda mais detalhados e ricos sobre o território urbano caso contasse com dados quantitativos sendo eles climáticos, geotécnicos, dentre outros. Assim, mais variáveis seriam consideradas ao modelo tornando as camadas mais robustas. Em relação a infraestrutura verde, esse estudo considerou somente a arborização urbana como tipologia a ser analisada e inserida no território. A escala adotada ao estudo ficou restrita a escala municipal, apesar de os resultados terem gerado recomendações também em escala regional. A escala local não foi lidada.

Em contrapartida, o estudo pôde lidar com a arborização viária urbana. Por meio da utilização do NDVI, a arborização viária pode ser considerada e incluída como dado ao estudo, o que é um grande diferencial em comparação com análises anteriores pelo fato de haver escassez de dados sobre a arborização viária urbana. Foi possível trabalhar com as diferentes tipologias de áreas verdes presentes no território, classificando-as em ordem de relevância a investigação. Dados referentes ao uso e ocupação do solo foram incluídos sem utilizar Plano Diretor ou leis de zoneamento como parâmetro, sendo privilegiado o dado existente no município por meio da inserção de dados georreferenciados atuais e disponibilizados pela Prefeitura Municipal.

Se faz importante destacar os resultados obtidos no estudo. Foi possível obter resultados em relação a metodologia e a aplicação de infraestrutura verde como instrumento estratégico de aumento de resiliência urbana em Belo Horizonte. Sinteticamente, os resultados foram:

- Desenvolvimento da concepção de modelo analítico frente a escassez de pesquisas com recomendações práticas para novos estudos e implementação de infraestrutura verde urbana;
- Mapeamento de dados e criação de variáveis e critérios de análise a partir do conceito de infraestrutura verde levando em consideração as necessidades de sua implementação e seus desafios;
- Utilização das análises multicritérios por peso de evidência e análise combinatória como complementares em um mesmo modelo.
- Modelo em Sistema de Informação Geográfica - SIG capaz de espacializar as oportunidades e as vulnerabilidades do território de Belo Horizonte norteando a implementação de infraestrutura verde para planejadores urbanos e tomadores de decisão;
- Mapas qualitativos e detalhados de Belo Horizonte, sendo o Produto 1, um ranking das áreas mais vulneráveis e, conseqüentemente, das áreas mais propícias a serem os hubs da infraestrutura verde e o Produto 2, um arranjo das ocorrências ambientais, urbanas e climáticas do território resultando em ações para o aumento da capacidade de resiliência.

Diante disso, pode-se concluir que é de extrema importância a utilização de modelos analíticos detalhados que possibilitem a espacialização dos problemas ocorridos nas cidades e as oportunidades de ação para serem subsídio de ação e planejamento à planejadores urbanos. Esses modelos servem, da mesma forma, como ferramenta de convencimento de tomadores de decisão que ainda não conseguem compreender as problemáticas urbanas, seus impactos na qualidade de vida da cidade ou não visualizam possibilidades de boas intervenções.

A partir das análises realizadas no caso de estudo, foi possível constatar que Belo Horizonte apresenta altos níveis de vulnerabilidade em seu território, muito por consequência de uma urbanização que desde seu planejamento até os dias atuais não priorizou os recursos naturais e as condições locais geográficas e climáticas. Apesar disso, há boas oportunidades de implementar a infraestrutura verde de forma estratégica por meio da constituição de redes de arborização urbana que conectem os recursos naturais existentes entre si e com novas áreas arborizadas que, se implantadas, auxiliarão no aumento da capacidade de resiliência do município.

Para futuros estudos, é sugerido que sejam tratadas outras tipologias de infraestrutura verde. Aplicar a investigação realizada em outras escalas de planejamento e em outras municipalidades, do mesmo modo, se faz relevante à compreensão do conceito e seus benefícios às cidades que buscam o aumento de

resiliência urbana. É interessante que futuros estudos busquem aplicar a metodologia desenvolvida considerando todos os serviços ecossistêmicos no modelo georreferenciado. Nesse estudo, buscou-se atender o serviço ecossistêmico de regulação, porém haveria avanços relevantes em estudos que pudessem abordar a oferta dos demais serviços.

Por fim, é esperado que esse estudo seja replicado em demais cidades brasileiras a fim de refinar a metodologia aqui desenvolvida e avançar no conhecimento. As cidades serão cada vez mais atingidas por eventos extremos. Portanto, aumentar a capacidade de resiliência precisa ser prioridade para as municipalidades de todo o mundo, especialmente no Brasil onde os municípios são frequentemente impactados por inundações, ondas de calor, doenças zoonóticas, dentre outros eventos. Além disso, é desejado que esse estudo possa apoiar debates, projetos e planos de intervenção urbana na cidade de Belo Horizonte, principalmente ações que tenham como objetivo a adaptação do território frente os impactos negativos das mudanças do clima global que afligem a municipalidade com certa recorrência. Se faz necessário mencionar que a população urbana é extremamente impactada com a ocorrência de eventos extremos, em especial as populações mais vulneráveis que, não por coincidência, habitam os territórios com menor capacidade de resiliência.

Esse estudo não pretendeu esgotar a questão. Pelo contrário, é de intenção dessa pesquisa iniciar um debate qualificado sobre as temáticas envolvidas e o conceito de infraestrutura verde que ainda são pouco exploradas por academias, pesquisadores brasileiros, sobretudo em municipalidades e tomadores de decisão.

## REFERÊNCIAS

- ALHO, C. J. R. Importância da biodiversidade para a saúde humana: uma perspectiva ecológica. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 151-166, 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142012000100011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100011&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 30 set. 2019.
- AMORIM, J. H. The Contribution of Green Infrastructure to Spatiotemporal Air Temperature Gradients in Stockholm and Implications to Climate Change Adaptation. In: 10th International Conference on Urban Climate – ICUC 10, 2018, New York, United States. **Proceedings** [...]. New York: AMS. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/342560>. Acesso em: 01 nov. 2019.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. **Texto para Discussão**, IE/UNICAMP, Campinas. n. 155, p. 01-44, 2009.
- ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: Reflexões sobre uma trajetória. In: VIII ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Alagoas. **Anais** [...], Alagoas: ANTAC, 2005.
- ASSIS, E. S. Bases teóricas para a aplicação da climatologia ao planejamento urbano. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. **Anais** [...], Salvador: ANTAC, 1997, p. 134-139.
- ASSIS, E. S. *et al.* Elaboração de mapas climáticos urbanos: variáveis e resultados preliminares para Belo Horizonte, MG. In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Campinas. **Anais** [...], Campinas: ANTAC, 2015.
- ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- ASSIS, W. L. Os climas naturais do município de Belo Horizonte - MG. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, RR. Edição Especial “Climatologia Urbana”, p. 115-135, 2012. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/1098/872>. Acesso em: 01 nov. 2019.
- BARROS, A. S.; FARIAS, L. M.; MARINHO, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetal de Juazeiro do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06, p. 2885-2895, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246669/38048>. Acesso em: 21 fev. 2021.
- BELO HORIZONTE. Lei nº 11.181/19. **Plano diretor de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/11181/2019>. Acesso em: 03 nov. 2019.
- BELO HORIZONTE. Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência. **Relatório Política Climática 2016**. Belo Horizonte, 2016.

BENEDICT, M. A.; McMAHON, E. T. **Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities**. Washington, DC; Island Press, 2009.

BONZI, R. S. Meio século de primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Paraná, n. 28, p. 207-215, 2013. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/31007>. Acesso em: 05 out. 2019.

BONZI, R. S. Paisagem como infraestrutura. In: PELLEGRINO, P. R. M; MOURA, N. B. (org.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri, SP: Manole, 2017. p. 01-24.

BORSAGLI, A. **Arraial de Bello Horizonte: a ruralidade da nova capital de Minas**. Belo Horizonte: Edição do autor, 2019.

BRASIL. **A Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2000. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/textoconvenoportugus.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2021.

BRASIL. **Biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/secex\\_consumo/\\_arquivos/5%20%20mcs\\_biodiversidade.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/5%20%20mcs_biodiversidade.pdf). Acesso em: 27 set. 2019.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: <https://www.stf.jus.br/arquivo/cms/legislacaoConstituicao/anexo/CF.pdf>. Acesso em: 30 set. 2019.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Brasília, DF: Senado Federal, 1979. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/548642/publicacao/15757861>. Acesso em: 30 set. 2019.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2018. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2001/lei-10257-10-julho-2001-327901-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 30 set. 2019.

BRASIL. **Panorama da Biodiversidade nas Cidades: Ações e Políticas**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2014. Disponível em: <https://mma.gov.br/publicacoes/cidades-sustentaveis/category/138-geral.html>. Acesso em: 27 set. 2019.

BRASIL. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2015. Disponível em: [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf). Acesso em: 01 nov. 2019.

BUCHALA, I. C. F. A arborização urbana em tempos de mudanças climáticas: desafios e reflexões. In: Seminário de Pesquisa em Pós-Graduação e Inovação, 2018, Belo Horizonte. **Anais [...]**, Belo Horizonte, 2018. v. 2, p. 64-74

BUCHALA, I. C. F.; SILVA, M, S.; ASSIS, E. S. Infraestrutura verde urbana em cidades adensadas. In: Congresso Internacional Sustentabilidade Urbana: 14<sup>a</sup>

Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires, 2018, Vila Velha. **Anais [...]**, Vila Velha: Rede Cires Urbanere, 2018. v. 01, p. 505-514.

CAMPOLINA, A. G. *et al.* Análise de decisão multicritério para alocação de recursos e avaliação de tecnologias em saúde: tão longe e tão perto? **Cadernos de Saúde Pública** (Online). v. 33, n. 10, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v33n10/1678-4464-csp-33-10-e00045517.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2019.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Melhoramentos, 1969.

DAVIS, B. Prefácio. In: PELLEGRINO, P. R. M.; MOURA, N. B. (org.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri, SP: Manole, 2017. p. vii-x.

DE MARCO, J. C. **A gestão ambiental de Belo Horizonte através da arborização urbana: da estruturação urbana rumo à infraestrutura sustentável**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

DOBBERT, L. Y.; ZANLORENZI, H. C. P. Arborização urbana e conforto térmico: Um estudo para a cidade de Campinas/SP/ Brasil. **Revista LABVERDE**, São Paulo, n. 9, p. 73-85. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/88399>. Acesso em: 13 mai. 2018.

DUARTE, D. H. S. Variáveis urbanísticas e microclimas urbanos - Modelo empírico e proposta de um indicador. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável** (UFMG Online). Clima Urbano e Planejamento das Cidades, v. 3, n. 2, 2010. Disponível em: [http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum\\_patrimonio/article/view/48](http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/48). Acesso em: 07 jun. 2018.

EATON, T. T. Approach and case-study of green infrastructure screening analysis for urban stormwater control. **Journal of Environmental Management**. v. 209, p. 495-504, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717312549?via%3Dihub>. Acesso em: 01 nov. 2019.

ECHEGARAY, E.; AFONSO, M. H. F. Respostas às mudanças climáticas: inovação tecnológica ou mudança de comportamento individual? **Revista Estudos Avançados**. São Paulo, v. 28, n. 82, p. 155-174, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mais de 80% da população brasileira habita 0,63% do território nacional. **EMBRAPA**, out. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28840923/mais-de-80-da-populacao-brasileira-habita-063-do-territorio-nacional>. Acesso em: 18 jan. 2018.

FARIA, T. J. P. Os projetos do engenheiro Saturnino de Brito e mudança na paisagem urbana. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 19, 2015. p. 115-122.

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **URBE, Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, n. 9, p. 255-270, 2017.

FERREIRA, L. L. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Inventário das áreas úmidas em parques municipais de Belo Horizonte/MG. **Caderno de Geografia**. Belo Horizonte, v. 28, n. 54, p. 702-730, 2018. Disponível em:

<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/17688/13338>. Acesso em: 11 fev. 2020.

FONSECA, D. F. *et al.* Verticalização e permeabilização do solo urbano: entre as promessas e a realidade - considerações com base no caso de Belo Horizonte/MG. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 890-897.

FRANCO, M. A. R. Infraestrutura Verde em São Paulo: o caso do Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos. **Revista LABVERDE**. São Paulo, n. 1, p. 135-154, 2010. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61284>. Acesso em: 06 jun. 2018.

FREITAS, T. P. F. O clima urbano das cidades e suas interações com a arquitetura e a geografia. **OBSERVATORIUM: Revista eletrônica de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 3, p. 262-272, 2018.

FUJIWARA, K. *et al.* Optimization of Tree Arrangement for Landscape Design: Proposal Regarding Tree Arrangement Priority Maps for Heat Mitigation. In: 10th International Conference on Urban Climate – ICUC 10, 2018, New York, United States. **Proceedings** [...]. New York: AMS. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/343152>. Acesso em: 01 nov. 2019.

GASTON, K. J.; SPICER, J.I. **Biodiversity: an introduction**. 2ª ed. Malden: Blackwell Publishing, 2004.

HANNES, E. Infraestrutura verde como instrumento de legislação urbana: Uma análise do Plano Diretor Estratégico de São Paulo. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 03, n. 06, 2015.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista LABVERDE**, São Paulo, n. 1, p. 92-115, 2010. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/61281/64217>. Acesso em: 06 jun. 2018.

HIGUERAS, E. **Urbanismo Bioclimático**. Madrid: Gustavo Gili, 2006.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES. Quem somos. **ICLEI**, 2019. Disponível em: <http://sams.iclei.org/quem-somos/o-iclei.html>. Acesso em: 30 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Belo Horizonte. **IBGE**, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>. Acesso em: 03 nov. 2021.

IPCC, 2007. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.

IPCC, 2014. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B., Barros, V.R., Dokken, D. J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T. E., Chatterjee,

M., Ebi, K. L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., White, L. L. (Eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1132 pp.

IPCC, 2021. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

JALES, L. F.; SILVA, L. G. N. V.; VASCONCELOS, F. M. Análise multicritério para definição de áreas prioritárias para implantação de projeto de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos no município de Brumadinho, MG. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 4624-4631.

LEITE, J. R. A paisagem entre a cidade e a natureza: a reserva da biosfera de São Paulo. In: PELLEGRINO, P. R. M; MOURA, N. B. (org.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri, SP: Manole, 2017. p. 79-100.

LEITE, J. R.; PELLEGRINO, P. R. M.; MODESTO, A. A. L. Avaliação temporal do crescimento da mancha urbana no setor oeste da reserva da biosfera do cinturão verde (RBCV). **REVSBAU** – Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. Piracicaba, SP, v. 07, n. 04, p. 37-52, 2012.

LI, C. *et al.* Mechanisms and applications of green infrastructure practices for stormwater control: A review. **Journal of Hydrology**. v. 568, p. 626–637, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169418308539?via%3Dihub>. Acesso em: 01 nov. 2019.

LYLE, J. T. **Regenerative design for sustainable development**. John Wiley & Sons, 1994.

MADUREIRA, H. Infraestrutura verde na paisagem urbana contemporânea: o desafio da conectividade e a oportunidade da multifuncionalidade. **Revista da Faculdade de Letras-Geografia** - Universidade do Porto, s. 03, v. 01, p. 33-43, 2012.

MAGRINI, A. Política e gestão ambiental: conceitos e instrumentos. **Revista Brasileira de Energia**, v. 08, n. 02, p. 01-08, 2001. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/151/134>. Acesso em: 15 out. 2019.

MASCARELLO, A. V. S.; BARBOSA, L.; ASSIS, E. S. Efeitos da vegetação viária no conforto térmico urbano. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, Balneário Camboriú, SC. **Anais [...]**. Camboriú: ANTAC/UNIVALI, 2017. v. 1, p. 367-376.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo, IGEOG/USP, 1976, 181p.

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. (org.). **Clima urbano**. 2ª ed. São Paulo, SP: Contexto, 2020.

MOTA, J. A. *et al.* Trajetória da Governança Ambiental. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental** – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), n. 01, p. 11-20, 2008. Disponível em:



[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1572](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1572). Acesso em: 31 ago. 2019.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis, SC. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, p. 2899-2906.

MUNCK, C. *et al.* Impact of Modelling Vegetation at High Resolution on Urban Climate Variability. In: 10th International Conference on Urban Climate – ICUC 10, 2018, New York, United States. **Proceedings [...]**. New York: AMS. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/342755>. Acesso em: 01 nov. 2019.

MUSSETTI, G. *et al.* Modelling the Citywide Impact of Urban Vegetation: an Application to Zurich and Singapore. In: 10th International Conference on Urban Climate – ICUC 10, 2018, New York, United States. **Proceedings [...]**. New York: AMS. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/343416>. Acesso em: 01 nov. 2019.

NAEEM, S. *et al.* **Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: an ecological and economic perspective**. University of Oxford: Oxford University Press, 2009.

OLIVEIRA, A. M.; COSTA, H. S. M. A trama verde e azul no planejamento territorial: aproximações e distanciamentos. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**. São Paulo: v. 20, n. 03, p. 538-555, 2018.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ, 2016. Rio de Janeiro, Brasil. 116p.

PELLEGRINO, P. R. M. Introdução. In: PELLEGRINO, P. R. M; MOURA, N. B. (org.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri, SP: Manole, 2017. p. xi-xviii.

PELLEGRINO, P. R. M. Paisagem como infraestrutura hídrica. In: PELLEGRINO, P. R. M; MOURA, N. B. (org.). **Estratégias para uma infraestrutura verde**. Barueri, SP: Manole, 2017. p. 25-42.

PIRATELLI, A. J.; FRANCISCO, M. R. (org.). **Conservação da biodiversidade: dos conceitos às ações**. Rio de Janeiro: Technical Books, 2013. 272 p.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Revista Estudos Avançados**. São Paulo, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Estudo realiza medição de altitudes em Belo Horizonte. **PBH**, nov. 2017. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/estudo-realiza-medicao-de-altitudes-em-belo-horizonte>. Acesso em: 03 nov. 2019.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Legislação. **PBH**, jul. 2019. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/fundacao-de-parques-e-zoobotanica/legislacao>. Acesso em: 03 nov. 2019.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Plano Diretor – Lei 11.181/19. **PBH**, set. 2019. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/proposta>. Acesso em: 03 nov. 2019.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Prodabel detalha tamanho e número de bairros das regionais. **PBH**, mar. 2018. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/prodabel-detalha-tamanho-e-numero-de-bairros-das-regionais>. Acesso em: 03 nov. 2019.

RAVEN, J.; LEONE, M. F. Shaping Climate Resilient Cities through Innovative, Multi-Scale and Adaptive-Mitigation Design Methods. In: 10th International Conference on Urban Climate – ICUC 10, 2018, New York, United States. **Proceedings** [...]. New York: AMS. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/342165>. Acesso em: 01 nov. 2019.

REN, C.; YAN-YUNG, E.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: a review. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 15, p. 2213-2233, 2011.

ROCHA, N. A.; CASAGRANDE, P.; MOURA, A. C. M. Análise combinatória e pesos de evidência na produção de análise multicritérios em modelos de avaliação. **GESIG**, Luján, Argentina, n. especial, seção I, p. 49-74, 2018. Disponível em: <https://revistageosig.wixsite.com/geosig/geosig-11-2018>. Acesso em: 23 ago. 2021.

SANTOS, M. A. **Urbanização Brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993. Metamorfoses do Espaço Habitado: Fundamentos teóricos e metodológicos da Geografia. 5ª ed. São Paulo: Hucitec, 1997.

SANTOS, M. B. S. **Novo Plano Diretor – Conexões Verdes**. Destinatário: Isadora Carvalho Ferreira Buchala. Belo Horizonte, 08 nov. 2019. 1 mensagem eletrônica.

SALGUEIRO, H. A. Revisando Haussmann: os limites da comparação, a cidade, a arquitetura e os espaços verdes, o caso de Belo Horizonte. **Revista USP**, São Paulo, n. 26, p.195-205, jun-ago, 1995.

SALGUEIRO, H. A. **Engenheiro Aarão Reis: o progresso como missão**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais, 1997. 288p.

SCHUTZER, J. G. Infraestrutura verde no contexto da infraestrutura ambiental urbana e da gestão do meio ambiente. **Revista LABVERDE**, São Paulo, n. 8, p. 12-30, 2014. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/83532>. Acesso em: 27 jun. 2018.

SENA, I. S. de, *et al.* Methodology for green and built volume analysis. **Mercator**, Fortaleza, v. 17, e17021, 2018. p. 1-13. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e1702>. Acesso em: 23 ago. 2021.

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SOLERA, M. L. (org.). **Guia metodológico para implantação de infraestrutura verde** [livro eletrônico]. São Paulo, SP: IPT: FIPT, 2020. 79p.

SPIRN, A. W. **O Jardim de granito**: a natureza no desenho da cidade. Edusp, São Paulo, 1995.

UGEDA JÚNIOR, J. C.; AMORIM, M. C. de C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. Especial, p. 160-173, 2016. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/119402>. Acesso em: 11 fev. 2020.

WAYCARBON. **Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte** - Resumo para os Tomadores de Decisão. Em parceria com a Prefeitura de Belo Horizonte e Fundação Konrad-Adenauer-Stiftung. Belo Horizonte, 2016.

WOHLLEBEN, P. **A vida secreta das árvores**. Traduzido Petê Rissatti. Rio de Janeiro: Sextante, 2017.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Earth experienced warmest June on record. **WMO**, jul. 2019. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/news/earth-experienced-warmest-june-record>. Acesso em: 17 set. 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Statement on the State of the Global Climate in 2017**. Geneva: WMO N.1212, 2018.

WRATTEN, S. *et al.* **Ecosystem service in agricultural and urban landscapes**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013.

## ANEXO A – LEGENDA DA FIGURA 10. UNIDADES CLIMÁTICAS URBANAS

| Unidades Climáticas Urbanas           |                                           |                                                               |                                                                | Chave de Classificação                                         |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|-------------|--|
| Local                                 | Mesoclimas                                | Topoclimas                                                    | Classificação                                                  | Temperatura do Ar (°C)                                         |                                                     |                                                               |           | Umidade Relativa (%) |             |  |
|                                       |                                           |                                                               |                                                                | Média                                                          |                                                     | Desvio Padrão                                                 |           |                      |             |  |
| I - Depressão de Belo Horizonte       | A - Núcleo Urbano Central                 | IA <sub>1</sub>                                               | C <sub>2</sub> U <sub>4</sub> nepd <sub>1</sub>                | A                                                              | 20,4 - 21,3                                         | 1                                                             | 3,3 - 3,7 | U <sub>1</sub>       | 56,0 - 58,0 |  |
|                                       |                                           | IA <sub>2</sub>                                               | D <sub>1</sub> U <sub>1</sub> eC <sub>2</sub> d <sub>4</sub>   |                                                                |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           | IA <sub>3</sub>                                               | D <sub>2</sub> U <sub>2</sub> emd <sub>4</sub>                 | B                                                              | 21,4 - 22,3                                         | 2                                                             | 3,8 - 4,2 | U <sub>2</sub>       | 59,0 - 61,0 |  |
|                                       |                                           | IA <sub>4</sub>                                               | D <sub>3</sub> U <sub>1</sub> nr <sub>1</sub> d <sub>4</sub>   |                                                                |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       | B - Venda Nova - Regional Norte           | IB <sub>1</sub>                                               | D <sub>4</sub> U <sub>2</sub> nemd <sub>4</sub>                | C                                                              | 22,4 - 23,3                                         | 3                                                             | 4,3 - 4,7 | U <sub>3</sub>       | 62,0 - 64,0 |  |
|                                       |                                           | IB <sub>2</sub>                                               | D <sub>4</sub> U <sub>2</sub> ner <sub>1</sub> d <sub>3</sub>  |                                                                |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           | IB <sub>3</sub>                                               | D <sub>4</sub> U <sub>2</sub> eh <sub>1</sub> d <sub>1</sub>   |                                                                |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       | C - Alípio de Melo - Castelo - Itatiaia   | IB <sub>4</sub>                                               | D <sub>4</sub> U <sub>2</sub> nepd <sub>1</sub>                | D                                                              | 23,4 - 24,8                                         | 4                                                             | 4,8 - 5,4 | U <sub>4</sub>       | 65,0 - 66,0 |  |
|                                       |                                           | IC <sub>1</sub>                                               | D <sub>3</sub> U <sub>1</sub> nemd <sub>4</sub>                |                                                                |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       | D - Depressão Central                     |                                                               | IC <sub>2</sub>                                                | D <sub>3</sub> U <sub>1</sub> ner <sub>1</sub> d <sub>2</sub>  | Direção Predominante e Intensidade Média dos Ventos |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | ID <sub>1</sub>                                                | D <sub>3</sub> U <sub>1</sub> ner <sub>1</sub> d <sub>3</sub>  | n                                                   | direção Norte e intensidade entre 0 e 2 na escala Beaufort    |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | ID <sub>2</sub>                                                | D <sub>3</sub> U <sub>2</sub> nr <sub>1</sub> d <sub>4</sub>   | n'                                                  | direção Norte e intensidade entre 2 e 4 na escala Beaufort    |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | ID <sub>3</sub>                                                | D <sub>4</sub> U <sub>2</sub> sepd <sub>1</sub>                | ne                                                  | direção Nordeste e intensidade entre 0 e 2 na escala Beaufort |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | ID <sub>4</sub>                                                | D <sub>3</sub> U <sub>2</sub> epd <sub>1</sub>                 | ne'                                                 | direção Nordeste e intensidade entre 2 e 4 na escala Beaufort |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | ID <sub>5</sub>                                                | C <sub>2</sub> U <sub>2</sub> epd <sub>1</sub>                 | e                                                   | direção Leste e intensidade entre 0 e 2 na escala Beaufort    |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | ID <sub>6</sub>                                                | D <sub>3</sub> U <sub>2</sub> eh <sub>3</sub> d <sub>2</sub>   | e'                                                  | direção Leste e intensidade entre 2 e 4 na escala Beaufort    |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | ID <sub>7</sub>                                                | D <sub>3</sub> U <sub>2</sub> er <sub>1</sub> d <sub>3</sub>   | se                                                  | direção Sudeste e intensidade entre 0 e 2 na escala Beaufort  |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | ID <sub>8</sub>                                                | D <sub>2</sub> U <sub>3</sub> er <sub>1</sub> d <sub>1</sub>   | se'                                                 | direção Sudeste e intensidade entre 2 e 4 na escala Beaufort  |           |                      |             |  |
|                                       | ID <sub>9</sub>                           | D <sub>3</sub> U <sub>2</sub> e'h <sub>3</sub> d <sub>1</sub> |                                                                |                                                                |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
| II - Serras do Quadrilátero Ferrífero | A - Escarpas e Cristas da Serra do Curral | IIA <sub>1</sub>                                              | A <sub>2</sub> U <sub>4</sub> ne'pd <sub>1</sub>               | Uso do Solo Predominante                                       |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           | IIA <sub>2</sub>                                              | B <sub>2</sub> U <sub>3</sub> ne'pd <sub>1</sub>               |                                                                |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           | IIA <sub>3</sub>                                              | B <sub>2</sub> U <sub>3</sub> ne'r <sub>1</sub> d <sub>1</sub> | r <sub>1</sub>                                                 | residencial até 4 pavimentos                        |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           | IIA <sub>4</sub>                                              | C <sub>1</sub> U <sub>3</sub> ne'r <sub>2</sub> d <sub>2</sub> | r <sub>2</sub>                                                 | residencial ≥ 4 pavimentos                          |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           | IIA <sub>5</sub>                                              | C <sub>1</sub> U <sub>2</sub> ne'r <sub>2</sub> d <sub>4</sub> | c <sub>1</sub>                                                 | comercial e serviços até 4 pavimentos               |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           | IIA <sub>6</sub>                                              | C <sub>2</sub> U <sub>3</sub> ne'h <sub>1</sub> d <sub>4</sub> | c <sub>2</sub>                                                 | comercial e serviços ≥ 4 pavimentos                 |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           | IIA <sub>7</sub>                                              | C <sub>2</sub> U <sub>3</sub> ne'r <sub>1</sub> d <sub>3</sub> | m                                                              | misto (comercial e serviços) até 7 pavimentos       |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       | B - Colinas e Vales Barreiro - Centro-Sul |                                                               | IIIB <sub>1</sub>                                              | C <sub>1</sub> U <sub>1</sub> n'r <sub>1</sub> d <sub>4</sub>  | h <sub>1</sub>                                      | vilas, aglomerados, área de expansão, vazios urbanos          |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | IIIB <sub>2</sub>                                              | C <sub>1</sub> U <sub>2</sub> ne'h <sub>3</sub> d <sub>4</sub> | h <sub>2</sub>                                      | industrial e/ou mineração                                     |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | IIIB <sub>3</sub>                                              | C <sub>1</sub> U <sub>2</sub> eh <sub>3</sub> d <sub>4</sub>   | h <sub>3</sub>                                      | uso especial                                                  |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | IIIB <sub>4</sub>                                              | C <sub>1</sub> U <sub>2</sub> ner <sub>2</sub> d <sub>4</sub>  | p                                                   | áreas verdes, parques, praças,                                |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | IIIB <sub>5</sub>                                              | C <sub>2</sub> U <sub>1</sub> nh <sub>1</sub> d <sub>4</sub>   | Densidade Demográfica (hab./Km²)                    |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | IIIB <sub>6</sub>                                              | C <sub>2</sub> U <sub>2</sub> ner <sub>1</sub> d <sub>4</sub>  |                                                     |                                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | IIIB <sub>7</sub>                                              | C <sub>2</sub> U <sub>2</sub> neh <sub>2</sub> d <sub>1</sub>  | d <sub>1</sub>                                      | 0 - 5.000                                                     |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | IIIB <sub>8</sub>                                              | D <sub>2</sub> U <sub>1</sub> se'r <sub>1</sub> d <sub>3</sub> | d <sub>2</sub>                                      | 5.001 - 10.000                                                |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               | IIIB <sub>9</sub>                                              | D <sub>2</sub> U <sub>2</sub> ner <sub>1</sub> d <sub>4</sub>  | d <sub>3</sub>                                      | 10.001 - 20.000                                               |           |                      |             |  |
|                                       |                                           |                                                               |                                                                |                                                                | d <sub>4</sub>                                      | Acima de 20.001                                               |           |                      |             |  |

Obs.: chave de classificação elaborada com base nos dados do primeiro (21/08 - 30/08/2008) e segundo trabalho de campo (03/03 - 18/03/2009).

Wellington Lopes Assis (2010)

Obs.: chave de classificação elaborada com base nos dados do primeiro (21/08 - 30/08/2008) e segundo trabalho de campo (03/03 - 18/03/2009).

**Fonte:** Assis, 2010.