



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DAS ÁREAS VERDES DA  
CIDADE DE BELO HORIZONTE – MG**

**João Vitor Antunes de Souza**

**Belo Horizonte  
2023**

**João Vitor Antunes de Souza**

**VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DAS ÁREAS VERDES DA  
CIDADE DE BELO HORIZONTE – MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Freitas de Oliveira Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Belo Horizonte

2023

**JOÃO VITOR ANTUNES DE SOUZA**

**VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DAS ÁREAS VERDES DA  
CIDADE DE BELO HORIZONTE - MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 21 de Junho de 2023

Banca examinadora:



---

ARNALDO FREITAS DE OLIVEIRA JUNIOR  
Prof. Dr. Presidente da Banca – CEFET MG – Orientador



---

CARLOS WAGNER GONÇALVES ANDRADE COELHO  
Prof. Dr. – CEFET MG – Co-orientador



---

VANDEIR ROBSON DA SILVA MATIAS  
Prof. Dr. – CEFET/MG



---

MATUSALEM DE BRITO DUARTE  
Prof. Dr. – CEFET MG

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me proporcionado a oportunidade de chegar até este ponto da vida acadêmica e profissional.

Agradeço a minha mãe e minhas irmãs pelo apoio incondicional ao longo de toda a minha trajetória de vida.

Agradeço ao professor Dr. Arnaldo Freitas de Oliveira Júnior pelas oportunidades de aprendizagem proporcionadas, pela atenção, pela compreensão e por ter me apresentado a temática de Valoração de Serviços Ecológicos, essenciais para a execução deste trabalho. Com suas contribuições, tanto sobre a parte técnica deste trabalho quanto sobre as experiências profissionais e de vida, este trabalho tornou-se muito mais valoroso e capaz, em fornecer conhecimentos para a comunidade científica.

Agradeço ao professor Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho pelos conhecimentos passados por meio de suas aulas e por meio das diversas conversas e reuniões realizadas para a execução deste trabalho. Com suas contribuições e ensinamentos sobre os Sistemas de Informações Geográficas e sobre o Sensoriamento Remoto, este trabalho tornou-se muito mais rico, completo em informações e capaz de gerar conhecimentos para a comunidade científica.

Agradeço aos colegas de graduação que contribuíram, com suas experiências e histórias de vida, para o meu aprendizado e evolução pessoal e profissional.

Agradeço ao CEFET–MG, e a todo seu corpo docente, por ter me proporcionado conhecimentos que jamais imaginei adquirir.

*“We are like dwarfs on the shoulders of giants, so that we can see more than they, and things at a greater distance, not by virtue of any sharpness of sight on our part, or any physical distinction, but because we are carried high and raised up by their giant size.”*

João de Salisbury *The Metalogicon* (1159) livro 3, capítulo 4, citado em R. K. Merton *On the Shoulders of Giants* (1965) capítulo. 9.

## RESUMO

SOUZA, João Vitor Antunes de. **Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das Áreas Verdes do município de Belo Horizonte – MG**. 2023. 84 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

Os ecossistemas urbanos enfrentam uma pressão crescente do desenvolvimento humano contínuo e do crescimento populacional, com a melhora do bem-estar humano dentro das cidades se convertendo em um dos principais objetivos da urbanização. A presença de áreas verdes urbanas em quantidade e qualidade adequadas para os residentes urbanos ganhou importância crucial para as cidades em todo o mundo e, há um consenso entre os pesquisadores de que as AVUs podem mitigar alguns efeitos adversos da urbanização. As áreas verdes podem ser responsáveis por fornecer serviços ecossistêmicos de abastecimento, regulação, recreação e suporte para regiões urbanas e seus arredores. O impacto negativo da urbanização nas regiões urbanas, cria um ambiente inadequado à provisão dos serviços ecossistêmicos, propiciando uma perda na qualidade de vida e bem do estar.

Diante da importância que envolve a provisão de benesses advindas de tais áreas verdes, este trabalho teve como objetivo valorar os serviços ecossistêmicos providos pelas AVUs de Belo Horizonte/MG, no período entre os anos de 2017 a 2022, por meio do uso da técnica de NDVI aplicadas a imagens obtidas do satélite Sentinel 2. Como referência para estimar o valor dos serviços ecossistêmicos das AVUs, utilizou-se o método aplicado por Costanza et al. (2014). Foram considerados áreas verdes, todos os tipos de vegetação presentes nas áreas do município de Belo Horizonte/MG. O valor dos serviços ecossistêmicos obtidos para os anos de 2017 e 2022 foram de US\$59.556.531,33/ano e US\$56.008.891,84/ano, respectivamente.

Foi observada uma tendência variação sazonal dos valores dos serviços ecossistêmicos providos pelas AVUs ao longo dos anos, mas sem a obtenção de uma tendência com precisão estatística. Desta forma, se faz necessário o acompanhamento do comportamento da área de vegetação ao longo do tempo, para observar as tendências de variação do NDVI e, conseqüentemente, das tendências de variação dos serviços ecossistêmicos providos pela vegetação urbana.

Palavras-chave: Áreas Verdes Urbanas; NDVI; Sensoriamento Remoto; Serviços Ecossistêmicos; Valoração de Serviços Ecossistêmicos.

## ABSTRACT

SOUZA, João Vitor Antunes de. **Valuation of Ecosystem Services of Green Spaces in the city of Belo Horizonte – MG**. 2023. 84 pages. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

Urban ecosystems are facing increasing pressure due to ongoing human development and population growth. One of the primary objectives of urbanization is to enhance human well-being within cities. The presence of urban green spaces (UGSs) that are of sufficient quantity and quality for urban residents has become crucially important for cities worldwide. Researchers widely agree that UGSs can effectively mitigate the adverse effects of urbanization. Green spaces play a pivotal role in providing ecosystem services such as provisioning, regulating, recreational, and supporting functions for urban regions and their surroundings. However, the negative impact of urbanization in urban regions creates an environment that is unsuitable for the provision of these valuable ecosystem services, resulting in a decline in the quality of life and well-being of urban dwellers.

Recognizing the significance of the benefits derived from such green spaces, this study aims to assess the value of ecosystem services provided by the UGSs in Belo Horizonte/MG from 2017 to 2022. To accomplish this, the study utilizes the NDVI technique applied to satellite images obtained from the Sentinel 2 satellite. The method proposed by Costanza et al. (2014) serves as a reference for estimating the value of ecosystem services provided by UGSs. In this study, all types of vegetation present in the city of Belo Horizonte/MG are considered as green spaces. The estimated values of ecosystem services for the years 2017 and 2022 amount to US\$59,556,531.33/year and US\$56,008,891.84/year, respectively.

A seasonal variation in the values of ecosystem services provided by UGSs has been observed over the years, although without a trend of statistical significance. Therefore, continuous monitoring of the vegetation area is necessary to observe variations in NDVI and subsequently identify trends in the provision of ecosystem services by urban vegetation.

Keywords: Ecosystem Services; NDVI; Remote Sensing, Valuation of Ecosystem Services; Urban Green spaces.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.</b>	<b>Áreas verdes .....</b>	<b>18</b>
3.1.1.	<i>Áreas verdes urbanas .....</i>	20
3.1.2.	<i>Áreas verdes em Belo Horizonte .....</i>	22
3.1.3.	<i>Índice de Áreas Verdes .....</i>	25
<b>3.2.</b>	<b>Funções e Serviços Ecossistêmicos .....</b>	<b>27</b>
3.2.4.	<i>Valoração de Serviços Ecossistêmicos .....</i>	30
<b>3.3.</b>	<b>Sensoriamento remoto .....</b>	<b>31</b>
3.3.5.	<i>Missão Sentinel 2.....</i>	33
3.3.6.	<i>NDVI.....</i>	34
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.</b>	<b>Definição das áreas verdes a serem mensuradas.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.</b>	<b>Definição do método de valoração dos serviços ecossistêmicos .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3.</b>	<b>Obtenção das imagens de satélite .....</b>	<b>41</b>
<b>4.4.</b>	<b>Obtenção das áreas das AVUs .....</b>	<b>42</b>
4.4.7.	<i>NDVI.....</i>	42
4.4.8.	<i>Recorte das imagens de satélite .....</i>	42
4.4.9.	<i>Reclassificação.....</i>	42
4.4.10.	<i>Raster para Vetor.....</i>	43
4.4.11.	<i>Obtenção da área .....</i>	43
<b>4.5.</b>	<b>Estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos das AVUs .....</b>	<b>44</b>

<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.</b>	<b>Áreas das AVUs obtidas por meio das imagens do Sentinel 2.....</b>	<b>45</b>
<b>5.2.</b>	<b>Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das AVUs obtidos por meio das imagens do Sentinel 2 .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.</b>	<b>Análise dos dados obtidos do satélite do Landsat 8 .....</b>	<b>52</b>
<b>5.4.</b>	<b>Valoração dos Serviços Ecossistêmicos .....</b>	<b>59</b>
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>62</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
<b>9.</b>	<b>APÊNDICE A – IMAGENS DE NDVI DO SENTINEL 2 PARA BELO HORIZONTE .....</b>	<b>73</b>
<b>10.</b>	<b>APÊNDICE B – IMAGENS DE NDVI DO LANDSAT 8 PARA BELO HORIZONTE .....</b>	<b>79</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> – Quadro contendo a classificação de áreas verdes conforme PEÑA-SALMÓN et al. (2014).....	19
<b>Figura 3.2</b> – Quadro contendo os benefícios das áreas verdes, conforme Rocha e Abjoud (2013) .....	21
<b>Figura 3.3</b> – Unidades de Conservação em Belo Horizonte.....	23
<b>Figura 3.4</b> – Áreas adotadas e área disponíveis para doação do Programa Adoro BH .....	25
<b>Figura 3.5</b> – Quadro contendo a tipologia das Funções Ecosistêmicas conforme De Groot; Wilson; Boumans (2002).....	27
<b>Figura 3.6</b> – Quadro contendo as classificações dos Serviços Ecosistêmicos conforme MEA (2003) .....	28
<b>Figura 3.7</b> – Quadro contendo a classificação dos Serviços Ecosistêmicos conforme TEEB (2012) .....	29
<b>Figura 3.8</b> – Quadro contendo as metodologias de Valoração de Serviços Ecosistêmicos ...	31
<b>Figura 4.1</b> – Exemplos de áreas verdes considerados na metodologia.....	36
<b>Figura 5.1</b> – Variação da área para a escala E1 por meio das imagens do Sentinel 2 .....	46
<b>Figura 5.2</b> – Variação da área para a escala E2 por meio das imagens do Sentinel 2 .....	47
<b>Figura 5.3</b> – Variação da área para a escala E3 por meio das imagens do Sentinel 2 .....	47
<b>Figura 5.4</b> – Variação da área para a escala E4 por meio das imagens do Sentinel 2 .....	48
<b>Figura 5.5</b> – Variação da área para a escala E5 por meio das imagens do Sentinel 2 .....	48
<b>Figura 5.6</b> – Variação da área para as AVUs por meio das imagens do Sentinel 2 .....	49
<b>Figura 5.7</b> – Soma do índice pluviométrico nos sete dias anteriores às datas das imagens de satélite obtidas .....	50
<b>Figura 5.8</b> – Média das temperaturas nos sete dias anteriores às datas das imagens de satélite obtidas.....	51
<b>Figura 5.9</b> – Gráfico da variação da Valoração dos Serviços Ecosistêmicos das AVUs de Belo Horizonte no período entre os anos de 2017 a 2022 por meio das imagens do Sentinel 2 .....	52

<b>Figura 5.10</b> – Variação da área para a escala E1 por meio das imagens Landsat 8.....	53
<b>Figura 5.11</b> – Variação da área para a escala E2 por meio das imagens Landsat 8.....	54
<b>Figura 5.12</b> – Variação da área para a escala E3 por meio das imagens Landsat 8.....	54
<b>Figura 5.13</b> – Variação da área para a escala E4 por meio das imagens Landsat 8.....	55
<b>Figura 5.14</b> – Variação da área para a escala E5 por meio das imagens Landsat 8.....	55
<b>Figura 5.15</b> – Variação da área para as AVUs por meio das imagens Landsat 8.....	56
<b>Figura 5.16</b> – Comparação entre os ambos os satélites quanto a detecção de áreas verdes no período entre os anos de 2017 a 2022.....	57
<b>Figura 5.17</b> – Gráfico da variação da Valoração dos Serviços Ecológicos das AVUs de Belo Horizonte no período entre os anos de 2017 a 2022 por meio das imagens do Landsat 8.....	58
<b>Figura 9.1</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 01/07/2017 do satélite Sentinel 2.....	73
<b>Figura 9.2</b> - NDVI de Belo Horizonte da data 21/07/2018 do satélite Sentinel 2.....	74
<b>Figura 9.3</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 11/07/2019 do satélite Sentinel 2.....	75
<b>Figura 9.4</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 30/07/2020 do satélite Sentinel 2.....	76
<b>Figura 9.5</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 05/07/2021 do satélite Sentinel 2.....	77
<b>Figura 9.6</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 30/06/2022 do satélite Sentinel 2.....	78
<b>Figura 10.1</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 04/08/2017 do satélite Landsat 8.....	79
<b>Figura 10.2</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 06/07/2018 do satélite Landsat 8.....	80
<b>Figura 10.3</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 11/09/2019 do satélite Landsat 8.....	81
<b>Figura 10.4</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 25/06/2020 do satélite Landsat 8.....	82
<b>Figura 10.5</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 30/07/2021 do satélite Landsat 8.....	83
<b>Figura 10.6</b> – NDVI de Belo Horizonte da data 02/08/2022 do satélite Landsat 8.....	84

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 3.1</b> – Área ocupada por unidades de conservação em Belo Horizonte .....	23
<b>Tabela 4.1</b> – Data das imagens de satélite obtidas .....	42
<b>Tabela 5.1</b> – Áreas obtidas para cada escala de NDVI por meio das imagens do Sentinel 2 ..	45
<b>Tabela 5.2</b> – Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das AVUs de Belo Horizonte por meio das imagens do Sentinel 2.....	51
<b>Tabela 5.3</b> – Área obtidas para cada escala de NDVI por meio das imagens do Landsat8 .....	53
<b>Tabela 5.4</b> – Comparação ente as AVUs detectadas pelo Landsat 8 e Sentinel 2.....	57
<b>Tabela 5.5</b> – Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das AVUs de Belo Horizonte, por meio do Landsat 8 .....	58
<b>Tabela 5.6</b> – Valor dos Serviços Ecossistêmicos das Áreas Verdes Urbanos de Belo Horizonte .....	59
<b>Tabela 5.7</b> – Serviços Ecossistêmicos providos pelas áreas verdes urbanas de Belo Horizonte .....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AVU – Áreas Verdes Urbanas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU – Ilha de Calor Urbana

IDE – Infraestrutura de Dados Espaciais

IGS – Informal Green Spaces

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

OMS – Organização Mundial de Saúde

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UC – Unidade de Conservação

UGS – Urban Green Spaces

USGS – United States Geological Survey

## 1. INTRODUÇÃO

As áreas urbanas em todo o mundo enfrentam grandes desafios, incluindo o rápido crescimento populacional, expansão maciça e descontrolada do tecido urbano, aumento da poluição do ar emitida por veículos a combustão e tecnologias de aquecimento deficientes, efeito de ilha de calor urbano (ICU) e vários problemas de saúde que afetam a população urbana (FARKAS et al. 2023).

A presença de áreas verdes urbanas em quantidade e qualidade adequadas para os residentes urbanos ganhou importância crucial para as cidades em todo o mundo e, há um consenso entre os pesquisadores de que as AVUs podem mitigar alguns efeitos adversos da urbanização, supracitados, auxiliando no alívio do efeito de ICU, apoiando na limpeza e filtragem do ar, contribuindo para o sequestro de carbono e auxiliando a redução do escoamento pluvial. Além disso, eles podem fornecer habitats para animais ajudando na conservação da biodiversidade e podem fornecer um espaço para as pessoas praticarem esportes e outras atividades ao ar livre (FARKAS et al. 2023).

Muitos ecossistemas urbanos enfrentam uma pressão crescente do desenvolvimento humano contínuo e do crescimento populacional, com a melhora do bem-estar humano dentro das cidades se convertendo como um dos principais objetivos da urbanização. Dadas as conexões estreitas entre AVU e suas relações com os seres humanos, o gerenciamento sustentável de AVUs, podem favorecer o fornecimento de serviços ecossistêmicos dentro das áreas urbanas e, conseqüentemente, uma maior qualidade de vida aos residentes destas áreas (PAUDEL; STATES, 2023).

As áreas verdes podem ser responsáveis por fornecer serviços ecossistêmicos de abastecimento, regulação, recreação e suporte para regiões urbanas e seus arredores. O impacto negativo da urbanização nas regiões urbanas, cria um ambiente inadequado à provisão dos serviços ecossistêmicos, propício ao surgimento de desserviços ecossistêmicos (KEFALE; FETENE; DESTA, 2023).

Outro problema enfrentado nas cidades, está relacionado ao descumprimento dos padrões de zoneamento e construção, principalmente em áreas mais distantes em relação aos centros e em crescente expansão, devido a fatores como a ocupação ilegal e a fraca fiscalização do poder

público. Neste contexto, é explícita a necessidade de cumprimento do plano diretor urbano e do desenvolvimento de políticas urbanas que visem preservar as áreas verdes existentes, ao mesmo tempo em que são introduzidas novas áreas verdes, o que favorece a neutralização dos danos já causados e auxilia o controle de futuras perdas de vegetação (NAZOMBE; NAMBAZO, 2023).

As áreas verdes informais, caracterizados por locais terrenos baldios, abandonados ou sem uso específico que possuem vegetação, também se apresentam como importantes áreas para o fornecimento de serviços ecossistêmicos podendo se equiparar ao fornecimento de serviços ecossistêmicos de áreas verdes planejados para possuírem a presença de vegetação (LUO; PATUANO, 2023).

No contexto de análise de áreas verdes, o uso de imagens de satélite pode ser bastante útil, em combinação com informações obtidas em campo, para se obter dados quantitativos e qualitativos das AVUs. O Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), é utilizado em análises de sensoriamento remoto, como nos estudos de biomassa, cobertura vegetal, índice de área foliar e uso de terra, sendo utilizado para quantificar o nível de atividade da vegetação, relacionados aos seus metabolismos como a fotossíntese, por meio da absorção de luz (SUN; XIE; ZHAO, 2019).

Desta forma, o NDVI é considerado um bom índice para avaliar o crescimento, a cobertura vegetal e a saúde da vegetação (DONG et al. 2021). O NDVI pode ser sensível para áreas de pouca cobertura vegetal, podendo ser utilizado tanto para a observação das características das mudanças de vegetação e da cobertura vegetal quanto para a análise das características ecológicas das áreas de estudo, fornecendo parâmetros para avaliação das características qualitativas da vegetação (LIN et al. 2022).

Com a aceleração da urbanização, os recursos naturais tornaram-se escassos em muitas áreas urbanas em todo o mundo. Como resultado, a demanda das pessoas por um ambiente urbano saudável e habitável aumentou. As AVUs são considerados recursos preciosos, cuja existência é comprometida pela rápida expansão do tecido urbano, especialmente nos países em desenvolvimento (FARKAS et al. 2023).

Considerando a importância das áreas verdes na provisão de serviços ecossistêmicos em um ambiente urbano, este trabalho se propôs, por meio de uma análise informações de

sensoriamento remoto, valorar a provisão de serviços ecossistêmicos de áreas verdes do município de Belo Horizonte – MG, entre os anos de 2017 a 2022, utilizando para isso, a metodologia descrita no artigo dos autores Costanza et al. (2014).

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é estimar o valor da provisão de serviços ecossistêmicos das áreas verdes do município de Belo Horizonte – MG, entre os anos de 2017 a 2022.

### **2.1. Objetivos específicos**

Para atingir o objetivo principal, pretende-se:

- Definir as áreas verdes a serem mensuradas;
- Definir o método de valoração dos serviços ecossistêmicos;
- Obter imagens de satélite do município, entre os anos de 2017 a 2022;
- Obter a área ocupada pelas áreas verdes no município, entre os anos de 2017 a 2022.
- Compreender a importância das áreas verdes urbanas no município de Belo Horizonte.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para a descrição dos conceitos essenciais neste trabalho, a revisão bibliográfica terá início abordando o contexto das áreas verdes nas pesquisas científicas e sua relevância para as cidades. Em seguida, será explorada a temática dos serviços ecossistêmicos, fornecendo uma explicação dos conceitos de funções ecossistêmicas, serviços ecossistêmicos e valoração dos serviços ecossistêmicos. Por fim, serão discutidos os conceitos fundamentais relacionados ao sensoriamento remoto, incluindo os métodos e ferramentas utilizados neste estudo.

#### **3.1. Áreas verdes**

A definição de áreas verdes pode ser ampla e diversa, a depender dos campos de estudo e pesquisa a serem estudados. Até mesmo a forma como as áreas verdes são abordadas ou citadas na literatura variam conforme o tipo de pesquisa, com autores adotando terminologias como “áreas verdes”, “espaços verdes”, “vegetação remanescente”, “florestas urbanas”, “espaço livre”, “arborização urbana”, “sistemas de lazer”, “praças e parques urbanos” e similares, não havendo um consenso quanto ao termo específico a ser adotado (TAYLOR; HOCHULI, 2017; FARKAS et al. 2023; CHEN; MEN; KE, 2023).

Conforme Loboda e Angelis (2005), é importante definir de forma objetiva a utilização das diversas terminologias de definição da vegetação urbana, evitando uma utilização indevida das definições. As áreas verdes apresentam uma variedade de configurações, como praças, jardins e parques urbanos, entre outros. É importante destacar que elas não devem ser confundidas nem associadas a conceitos ou grupos diferentes, como é o caso de espaços abertos e áreas de lazer. Essa confusão começa quando os termos "áreas verdes", "espaços/áreas livres", "arborização urbana" e "verde urbano" são empregados como sinônimos nos meios científicos, ou seja, com o mesmo significado para descrever a vegetação urbana. No entanto, na realidade, a maioria desses termos não são sinônimos e se referem a elementos distintos. Embora não haja um consenso claro na definição, o termo mais comumente empregado para se referir à vegetação urbana é "áreas verdes" (RUBIRA, 2016).

Uma outra abordagem utilizada para descrever áreas verdes, principalmente em áreas urbanas, são os Áreas Verdes Informais (Informal Green Spaces – IGS), que são caracterizados por serem áreas que não foram projetadas exclusivamente para possuírem a presença de vegetação. Esses

locais podem ser identificados como terrenos baldios ou áreas sem utilização pelo poder público ou pelos cidadãos (LUO; PATUANO, 2023).

Peña-Salmón et al. (2014), adota uma classificação de áreas verdes conforme Figura 3.1.

**Figura 3.1** – Quadro contendo a classificação de áreas verdes conforme PEÑA-SALMÓN et al. (2014)

<b>Tipo</b>	<b>Sistema</b>	<b>Subsistema</b>
Públicas	Áreas verdes para serviços públicos	Recreação
		Esportes
		Outros serviços públicos
	Áreas Verdes Funcionais	Vias
	Áreas verdes naturais e protegidas	Naturais
Protegidas		
Privadas	Áreas verdes produtivas	Agricultura e pecuária
		Industrial
		Comercial
		Turístico
	Áreas verdes privadas	Habitacional
		Outros subsistemas de acesso privado

Fonte: Adaptado de Peña-Salmón et al. (2014).

Fato é que, todas essas formas de abordagem dos áreas verdes estão associadas a presença ou não de vegetação em um ambiente específico. Cada estudo abordará uma determinada parcela do que pode ser considerado área verde, para localizar sua pesquisa, conforme os objetivos dos quais se planeja alcançar.

Conforme Taylor e Hochuli (2017), que buscaram entender as definições de áreas verdes na literatura científica, podem ser descritas duas abordagens das quais as pesquisas comumente definem as áreas verdes. A primeira abordagem apresenta uma dicotomia entre espaço natural e espaço antropizado, com as áreas verdes sendo aquelas das quais há a presença de elementos encontrados na natureza não excluindo, entretanto, áreas urbanas. A segunda abordagem está intrinsecamente relacionada a áreas urbanas, de forma que as áreas verdes são elementos dentro de uma área antropizada, com esta abordagem estando voltada para a relação entre a urbanização e natureza.

### 3.1.1. *Áreas verdes urbanas*

A pesquisa de AVU moderna começou no início dos anos 1990 nos Estados Unidos e no Canadá com a investigação de florestas urbanas, sob uma perspectiva ecológica. Ao longo dos anos a perspectiva geográfica das áreas verdes foi ganhando relevância nas pesquisas, principalmente em países emergentes, considerado a rápida expansão urbana desses países associada ao intenso crescimento populacional. Como resultado da urbanização acelerada, o tecido urbano passou a ocupar uma área antes pertencente as áreas verdes (FARKAS et al. 2023).

A princípio, o desmatamento causado pela expansão urbana tende a ser o foco central das pesquisas. Porém, quando se trata de países desenvolvidos, as pesquisas associadas ao reflorestamento e a criação de novos espaços urbanos dentro do limite urbano também se tornaram um ponto bastante abordado em estudos científicos. Com o passar dos anos, as pesquisas passaram a agregar o contexto social nos estudos das AVUs em áreas urbanas (FARKAS et al. 2023).

Diversas pesquisas buscaram entender os impactos na vida dos indivíduos em virtude da presença das áreas verdes nas áreas urbanas. Zhao et al. (2022), observaram que as áreas verdes podem desempenhar um papel importante na diminuição dos níveis de pressão arterial e de hipertensão. Seguindo uma linha de pesquisa semelhante, Liu et al. (2022) observaram que uma maior exposição a áreas verdes ocasiona em menores riscos de eventos cardiovasculares adversos, como acidentes vasculares cerebrais, infarto do miocárdio, arritmia, insuficiência cardíaca, dentre outros. Mesmo que os efeitos diretos na saúde, ocasionados pelas áreas verdes, sejam pequenos para cada indivíduo, eles podem trazer grandes benefícios, associados aos cidadãos como um todo.

Ainda na área da saúde, o estudo de Ccami-Bernal et al. (2023) aborda a existência de evidências que indicam que as áreas verdes podem contribuir para a redução do desenvolvimento de diabetes mellitus tipo 2. Além disso, estudos como o Gonzales-Inca et al. (2022) indicam uma correlação na redução de depressão em pessoas que possuem áreas verdes em suas residências, com a presença de áreas verdes no entorno das residências contribuindo para o aumento desta correlação.

No contexto climático, um dos fenômenos associados a falta de áreas verdes urbanas são as ilhas de calor urbana (ICU). Yu et al. (2020), mostram que as áreas verdes urbanas e as áreas azuis-verdes urbanos, que também contemplam a presença de corpos hídricos em área urbana, podem contribuir para a redução do potencial de surgimento do fenômeno de ICU.

A vegetação pode liberar água no ar por meio de fotossíntese, transpiração e evapotranspiração, aumentando assim a umidade do ar. Desta forma, a vegetação fotossintetizante reduz o efeito térmico na cidade, transformando a radiação solar, aliviando efetivamente os efeitos da ICU. Além disso, as AVUs, desempenham um papel importante na mitigação do efeito estufa, ajustando o balanço de carbono e oxigênio da atmosfera e melhorando a qualidade do ambiente urbano (PANG et al. 2023).

No contexto ecológico, mesmo diante da pressão sofrida pela urbanização, além dos benefícios fornecidos aos cidadãos, AVUs são habitats importantes para insetos polinizadores e demais animais selvagens inseridos no contexto urbano, servindo de refúgio para fauna, principalmente em períodos de mudança de estação (ZENG et al. 2023).

Por fim, Rocha e Abjaud (2013), descrevem alguns dos principais benefícios das áreas verdes urbanas, conforme a Figura 3.2.

**Figura 3.2** – Quadro contendo os benefícios das áreas verdes, conforme Rocha e Abjaud (2013)

<b>Característica</b>	<b>Benefícios</b>
Atenuante dos níveis de ruído	Amortecimento dos ruídos de fundo sonoro contínuo e descontínuo de caráter estridente, ocorrente nas grandes cidades
Composição atmosférica urbana	Ação purificadora por reciclagem de gases em processos fotossintéticos
	Ação purificadora por fixação de poeiras e materiais residuais
	Ação purificadora por reciclagem de gases em processos fotossintéticos
	Purificação do ar por depuração bacteriana e de outros microrganismos
	Redução da poluição por meio de processos de oxigenação – introdução de excesso de oxigênio na atmosfera
Equilíbrio solo-clima-vegetação	Abrigo à fauna existente
	Diminuição do escoamento superficial de áreas impermeabilizadas em razão da presença de vegetação em ambientes urbanos, embora somente parte da pluviosidade precipitada possa ser interceptada e retida por espaços vegetados

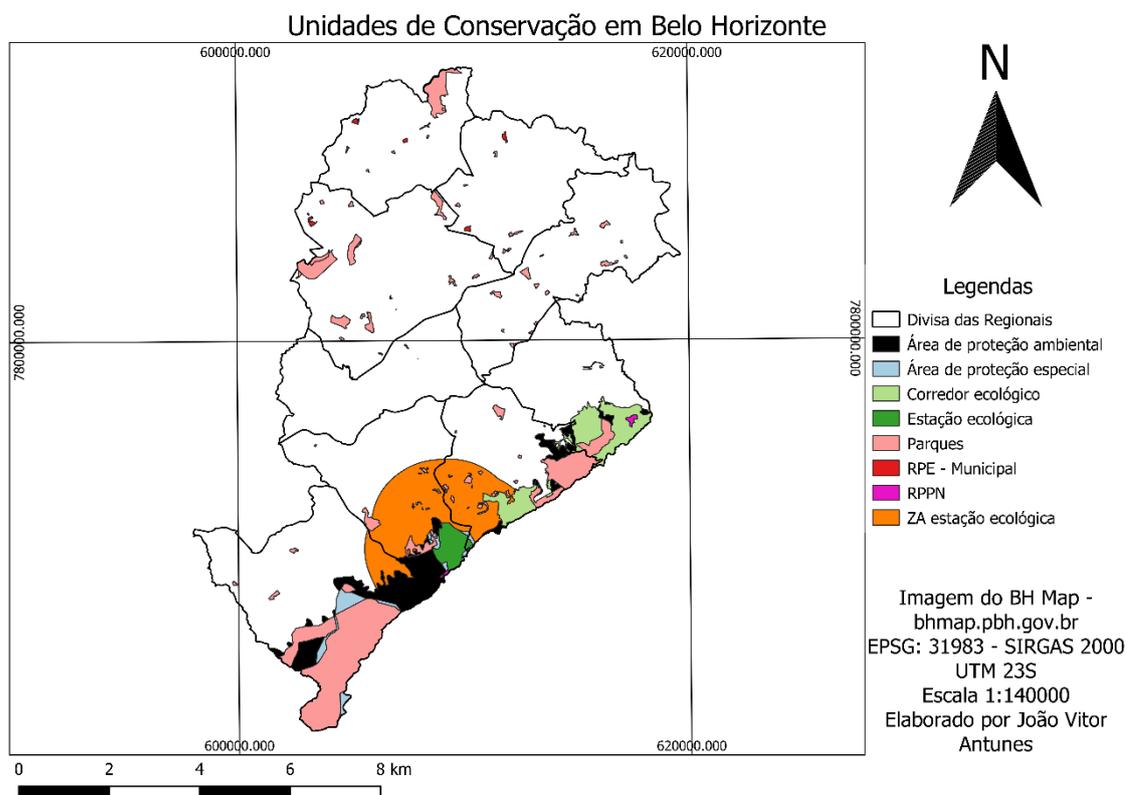
<b>Característica</b>	<b>Benefícios</b>
	Enriquecimento da umidade por meio da transpiração da fitomassa (300- 450ml de água/metro quadrado de área)
	Influência no balanço hídrico.
	Luminosidade e temperatura: a vegetação, ao filtrar a radiação solar, suaviza as temperaturas extremas.
	Manutenção da permeabilidade e da fertilidade do solo
	Redução na velocidade dos ventos
	Umidade e temperatura: a vegetação contribui para conservar a umidade dos solos, atenuando sua temperatura
Melhoria da estética urbana	Quebra da monotonia da paisagem das cidades, causada pelos grandes complexos de edificações
	Transmissão de bem-estar psicológico, em calçadas e passeios
	Valorização visual e ornamental do espaço urbano

Fonte: Adaptado de Rocha e Abjaud, (2013).

### 3.1.2. Áreas verdes em Belo Horizonte

A prefeitura de Belo Horizonte possui um amplo, porém, desordenado conjunto de dados espaciais referentes as áreas verdes do município. De acordo com Fernandes e Caldeira (2016), as informações disponibilizadas pela prefeitura, encontram-se distribuídas em diversos bancos de dados, prejudicando uma adequada gestão das áreas verdes por meio dessas plataformas sendo que, em alguns casos, as informações estão desatualizadas ou incompletas.

Um dos bancos de dados existentes que agregam informações sobre áreas verdes em Belo Horizonte é o Portal BHGEO, pertencente a Infraestrutura de Dados Espaciais de Belo Horizonte IDE-BHGEO, criada pelo decreto 16.322 de 13 de maio de 2016, alterado pelo decreto 17.209 de 11 de novembro de 2019 (BHGEO, 2022). Por meio desta IDE, é possível obter algumas informações sobre as áreas verdes de Belo Horizonte. A Figura 3.3, mostra as unidades de conservação presentes na área do município de Belo Horizonte.

**Figura 3.3** – Unidades de Conservação em Belo Horizonte

Fonte: Adaptado, BHGEO, (2023?).

A Tabela 3.1, mostra a área ocupada dentro do município de Belo Horizonte pelas unidades de conservação apresentadas na Figura 3.3.

**Tabela 3.1** – Área ocupada por unidades de conservação em Belo Horizonte

Unidade de Conservação	Quantidade	Área ocupada (ha)
Área de Proteção Ambiental	1	3.650,680
Área de Proteção Especial	2	1.488,220
Corredor Ecológico	1	1.188,000
Estação Ecológica	1	225,007
Parques	81	2.425,250
Reserva Particular de Patrimônio Natural	2	19,353
Reserva Particular Ecológica	9	26,577
Zona de Amortecimento Estação Ecológica	1	3.145,44
<b>Total</b>	<b>98</b>	<b>12.168,530</b>

Fonte: Adaptado, BHGEO, (2023?).

Considerando que a área de Belo Horizonte é de 33.135,4 hectares, de acordo com IBGE, (2021), as unidades de conservação mostradas na Figura 3.3 ocupam cerca de 36,72% da área

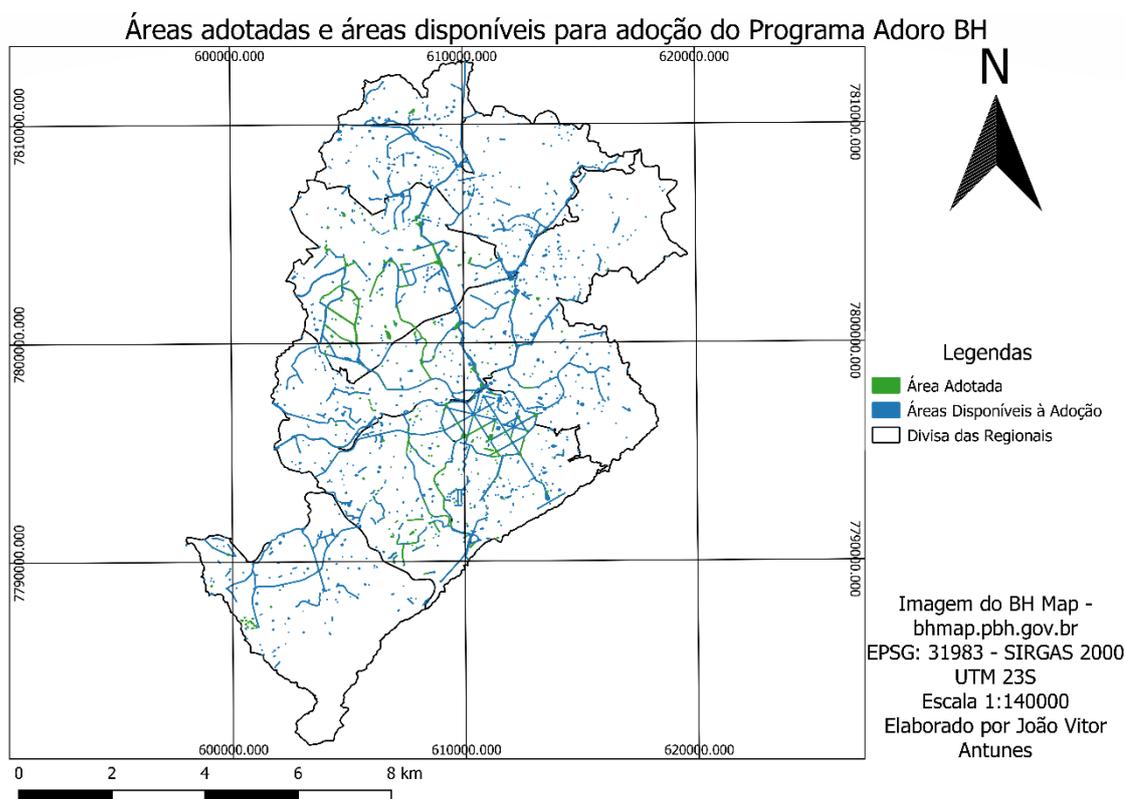
do município, sendo importante considerar, que essas áreas não estão completamente preenchidas por vegetação.

De acordo com o trabalho de Fernandes e Caldeira (2016), as áreas verdes de BH são caracterizados por parques municipais, que possuem dimensões bastante reduzidas (em média, variando de um a três hectares e fragmentados na paisagem urbana), apresentando poucas oportunidades de conexão entre si sem a implementação de grandes intervenções urbanísticas. As áreas verdes compostas por parques dedicados à preservação ambiental, em sua maioria, são ambientes fechados, nos quais existem pequenas áreas destinadas ao lazer dos moradores.

As áreas localizadas ao sul de Belo Horizonte constituem um corredor verde que se estende do sudoeste ao leste, seguindo as encostas da Serra do Curral, com a área que engloba o bairro Lagoinha e suas proximidades, emergindo como um dos principais locais onde a carência de áreas verdes pode ser identificada. Além disso, as áreas verdes situadas na porção extrema nordeste das regiões administrativas Norte e Nordeste são significativas e apresentam um alto potencial para a criação de parques e áreas protegidas. (FERNANDES; CALDEIRA, 2016).

Em relação a práticas voltadas a preservação de áreas verdes, Belo Horizonte possui um programa voltado para a melhoria e manutenção de áreas verdes públicas dentro do município, chamado de “Programa Adoro BH”, criado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, institucionalizado pelo decreto municipal nº 17.786 de 29 de novembro de 2021. Na Figura 3.4, pode-se verificar as áreas verdes adotadas e as áreas verdes disponíveis para a adoção no município de Belo Horizonte, de acordo com dados do BHGEO, (2022).

**Figura 3.4** – Áreas adotadas e área disponíveis para doção do Programa Adoro BH



Fonte: Adaptado, BHGEO, (2023?).

O programa tem como objetivo o estabelecimento de parcerias com a sociedade, por meio da adoção de áreas verdes tanto por pessoas físicas como por pessoas jurídicas, visando a redução de custos ao poder público ao mesmo tempo em que as áreas verdes adotadas beneficiam o município por meio da preservação de espaços que propiciam lazer e convivência humana, conscientização dos cidadãos quanto a importância de áreas verdes e melhoria paisagística da cidade, gerando maior qualidade de vida no ambiente urbano (BELO HORIZONTE, 2021).

Em setembro de 2022, Belo Horizonte possuía cerca de 352 áreas adotadas. Essa quantidade de áreas é dinâmica e pode variar ao longo do tempo, tendo em vista que convênios podem estar sendo renovados, criados ou encerrados a depender da data (MAGALHÃES, 2022).

### 3.1.3. Índice de Áreas Verdes

Diversos artigos, como Nazombe e Nambazo (2023), sugerem um índice mínimo de áreas verdes recomendado pela Organização Mundial de Saúde – OMS, de 9m<sup>2</sup> por pessoa, e um

índice ideal de 50 m<sup>2</sup>, por pessoa, com outros artigos sugerindo que o índice mínimo deve ser de 6m<sup>2</sup> (CHEN; MEN; KE, 2023).

Entretanto, conforme pesquisas do autor, corroboradas com avaliação de outros autores como Toledo, Mazzei e Santos (2009) e Cavalheiro e Del Picchia (1992) não foram encontrados documentos produzidos pela OMS que estabelecem tais valores.

Estudos como Pang et al. (2023), reforçam a ideia de que não há um consenso quanto a existência de um índice teórico da quantidade ideal de áreas verdes em áreas urbanas, considerando que a escala ideal de área verde de uma cidade é um conceito dinâmico, que pode ser influenciado por muitos fatores dentro e fora da cidade, que serão afetados a depender dos estágios de desenvolvimento da cidades e seu atual contexto já que, cada estágio de desenvolvimento, apresentará diferentes demandas para áreas verdes.

Outra questão importante que é, entretanto, considerada pela OMS, envolve a acessibilidade e a presença de áreas verdes aos cidadãos. A OMS recomenda que nas áreas urbanas a distância entre as áreas verdes e os assentamentos urbanos seja de no máximo 300m (AAMODT; NORDH; NORDBØ, 2023; WHO, 2016).

Conforme Oliveira (1996), foi adotado neste trabalho um índice de áreas verdes ideal de 13m<sup>2</sup> por habitante. Harder, Ribeiro e Tavares (2006), demonstram que o índice de áreas verdes pode ser calculado conforme Equação 3.1.

Equação 3.1 – Equação de cálculo do Índice de Áreas Verdes

$$IAV = \frac{AVUT}{n^{\circ} \text{ de habitantes}}$$

Sendo que:

IAV = Índice de Áreas Verdes

AVUT = Áreas Verdes Urbanas Totais

### 3.2. Funções e Serviços Ecosistêmicos

Para a compreensão dos conceitos de serviços ecossistêmicos em sua totalidade, é importante diferenciá-lo do conceito de funções ecossistêmicas. As funções ecossistêmicas podem ser descritas como as interações entre os elementos estruturais bióticos e abióticos pertencentes a um ecossistema (DALY; FARLEY, 2004).

As funções ecossistêmicas desempenham um papel importante, uma vez que são responsáveis pela geração dos serviços ecossistêmicos, que são os benefícios obtidos pelo ser humano a partir dos ecossistemas, tanto de forma direta quanto indireta (ANDRADE E ROMEIRO, 2010 ; GOMES; NETO; SILVA, 2018)).

Conforme o trabalho de De Groot; Wilson; Boumans (2002), as funções ecossistêmicas podem ser classificadas de acordo as informações presentes Figura 3.5.

**Figura 3.5** – Quadro contendo a tipologia das Funções Ecosistêmicas conforme De Groot; Wilson; Boumans (2002)

<b>Funções de regulação</b>	Regulação de gás
	Regulação climática
	Regulação de distúrbios
	Regulação de água
	Oferta de água
	Retenção do solo
	Formação do solo
	Regulação de nutrientes
	Tratamento de resíduos
	Polinização
	Controle biológico
<b>Funções de habitat</b>	Refúgio de fauna e flora
	Berçário de fauna e flora
<b>Funções de produção</b>	Alimentos
	Matérias-primas
	Recursos genéticos
	Recursos medicinais
	Recursos ornamentais
<b>Funções de informação</b>	Informação estética
	Recreação
	Informação artística e cultural
	Informação histórica e espiritual
	Ciência e educação

Fonte: Adaptado de De Groot; Wilson; Boumans (2002).

Todas as diferentes funções não possuem apenas um componente do ecossistema responsável por gerá-las, já que em um ecossistema natural em equilíbrio, todos os componentes se influenciam mutuamente. O entendimento deste fator é importante, já que quando é necessário se caracterizar as funções, as definições consideram um ecossistema em equilíbrio (BOCKSTAEL et al. 1995).

Semelhante a definição de funções ecossistêmicas, temos a definição de serviços ecossistêmicos que traz uma conceitualização semelhante, tendo em vista que os serviços ecossistêmicos são considerados como funções ecossistêmicas desempenhadas pelos ecossistemas que trazem benefícios explícitos na forma de bens e serviços para os seres humanos (HUETING et al. 1998).

Conforme Ferraz et al. (2019), diversos autores propuseram ao longo dos anos definições e classificações para os serviços ecossistêmicos. Na Figura 3.6, é possível observar a classificação proposta por MEA (2003).

**Figura 3.6** – Quadro contendo as classificações dos Serviços Ecossistêmicos conforme MEA (2003)

<b>Serviços de provisão (abastecimento)</b>	Alimentos
	Água
	Madeira para combustível
	Fibras
	Bioquímico
	Recursos genéticos
<b>Serviços de Regulação</b>	Regulação climática
	Regulação de doenças
	Regulação biológica
	Regulação e purificação de água
	Regulação de danos naturais
<b>Serviços Culturais</b>	Polinização
	Ecoturismo e recreação
	Espiritual e religioso
	Estético e inspiração
	Educacional
	Senso de localização
<b>Serviços de suporte</b>	Herança cultural
	Formação do solo
	Produção de oxigênio
	Ciclagem de nutrientes
	Produção primária

Fonte: Adaptado de MEA (2003).

Uma outra classificação semelhante, desenvolvida por TEEB (2012) é demonstrada na Figura 3.7.

**Figura 3.7** – Quadro contendo a classificação dos Serviços Ecossistêmicos conforme TEEB (2012)

Serviços de Provisão	Alimentos
	Matéria-Prima
	Água
	Recursos Medicinais
Serviços de Regulação	Regulação local do clima e da qualidade do ar
	Sequestro e armazenamento de carbono
	Moderação de eventos extremos
	Tratamento de efluentes
	Prevenção contra erosões e manutenção de fertilidade do solo
	Polinização
Habitat ou Serviços de Suporte	Controle biológico
	Habitats para espécies
	Manutenção da diversidade genética
Serviços Culturais	Recreação e saúde física e mental
	Turismo
	Contemplação estética e inspiração para cultura, arte e design
	Experiência espiritual e sentido de pertencer a algum lugar

Fonte: Adaptado de TEEB (2012).

Neste momento, é possível perceber uma semelhança entre os conceitos de funções e de serviços ecossistêmicos e, o principal ponto de inflexão que nos fornece a discriminação entre tais conceitos, está relacionando a influência de uma função em uma ação antrópica onde, desta forma, as funções são reconceituadas como serviços. Um serviço pode também ser considerado um produto ou uma consequência de uma função ecossistêmica, que é utilizado de alguma forma nas atividades antrópicas (COSTANZA, 2000).

Tratando-se de sistemas complexos como os ecossistemas naturais, é difícil definir uma conexão exata entre todas as funções de forma a definir qual função foi responsável por gerar qual serviço. Um mesmo serviço pode ser oriundo de mais de uma função, da mesma forma que uma função pode ser capaz de gerar mais de um serviço. Apesar disso, o estudo de como

funções ecossistêmicas específicas são impactadas por influências naturais e antrópicas distintas se fazem necessários, tendo em vista uma demanda crescente pelo entendimento do funcionamento dos ecossistemas para o seu uso em função das atividades antrópicas (BOUMANS et al. 2002).

#### *3.2.4. Valoração de Serviços Ecossistêmicos*

A valoração dos serviços ecossistêmicos apresenta-se como uma ferramenta para agregar uma importância aos recursos ambientais, que de acordo com Andrade e Romeiro (2010), extrapolam a esfera econômica. Deste modo, a valoração se diferencia do conceito de preço, pois este último não reflete a importância daquilo que está sendo precificado. Da mesma forma que existem conceitos de valores que são baseados em relações históricas estruturadas ao longo do tempo pela sociedade, como os circuitos de mercados e de trocas, caracterizados como valores econômicos, irão existir valores não econômicos, que darão ênfase em questões de ordem ética e moral, como valor a vida, direitos humanos e solidariedade.

Em adição as diversas abordagens possíveis valoração de serviços ecossistêmicos, Maia; Romeiro; Reydon, (2010) citam a ideia de que, existem os chamados valores de uso de um recurso natural que são baseados nos fluxos de bens e serviços ambientais gerados pelo consumo e os valores de não uso, ou valores de existência, que estão relacionados à própria existência do recurso, sem associação com o uso presente ou futuro do respectivo recurso.

Dentro desta abordagem pode-se citar que o valor de uso, associado ao consumo e a preços de mercado, é ineficiente em determinar o real valor do um recurso natural, tendo em vista que os impactos gerados pela exploração do recurso, sua remoção do ecossistema e sua capacidade de regeneração no ambiente não são internalizados, sendo esse preço subavaliado, de acordo com os autores. Neste caso, se os danos ambientais gerados pela necessidade do uso de um recurso ambiental fossem internalizados dentro da sua precificação, o uso do recurso poderia ser considerado mais sustentável para o meio ambiente (BOUMANS et al. 2015).

Se tratando de metodologias de valoração dos serviços ecossistêmicos, as mais utilizadas vão se embasar, ou em métodos diretos, que buscam avaliar a disposição a pagar dos indivíduos por um recurso natural, ou métodos indiretos, que buscam avaliar o efeito causado nos preços de

mercado devido as mudanças ambientais geradas pelo uso do recurso natural. Esses métodos são divididos conforme a Figura 3.8.

**Figura 3.8** – Quadro contendo as metodologias de Valoração de Serviços Ecossistêmicos

Métodos diretos	Disposição a pagar direta	Método de valor de contingente
	Disposição a pagar indireta	Método de custo de viagem
Métodos indiretos	Mercado de bens substitutos	Preços hedônicos
		Custos de Controle
		Custos Evitados
		Custos de Oportunidade
	Produtividade Marginal	Produtividade Marginal

Fonte: Adaptado de De Groot; Wilson; Boumans (2002).

De forma geral, os métodos indiretos são mais simples e rápidos e, apesar de não serem capazes de estimar valores de não uso, são eficientes para a demonstração da importância do uso sustentável para os recursos ambientais. Se tratando de valores de não uso que, comumente, apresentam-se como grande parte do valor de um recurso ambiental, os métodos diretos são os métodos indicados, verificando a disposição a pagar dos indivíduos pelo respectivo recurso (DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002).

Neste trabalho, destaca-se a metodologia apresentada no artigo de Costanza et al. (2014), intitulado 'Changes in the Global Value of Ecosystem Services'. Essa metodologia fornece valores dos serviços ecossistêmicos para diversos ecossistemas do planeta, seguindo a classificação TEEB (2012) apresentada na Figura 3.7. Os valores dos serviços ecossistêmicos são expressos em dólares por hectare por ano. Com base nesses valores, é possível extrapolar o valor dos serviços ecossistêmicos para uma área específica em qualquer parte do planeta que possua o respectivo ecossistema, obtendo o valor em dólares por ano.

### 3.3. Sensoriamento remoto

A popularidade do uso de sensoriamento remoto aumentou principalmente devido a um aumento significativo de arquivos de satélites globais totalmente corrigidos e publicamente disponíveis e o seus processamentos on-line. O acesso gratuito a imagens das missões Landsat, Sentinel, MODIS e outros arquivos de satélite revolucionou as imagens de satélite, especialmente no setor da agricultura (AHMED et al. 2023). As imagens de sensoriamento

remoto oferecem uma abundância de informações espaciais e espectrais que podem fornecer uma compreensão macro das questões urbanas (LI et al. 2023).

O sensoriamento remoto é a tecnologia de coleta de informações sobre um alvo, medindo a radiação emitida e refletida com base na teoria das ondas eletromagnéticas, que pode ser realizado por imagens aéreas ou por imagens de satélite (CHEN et al. 2023). Todas as imagens de sensoriamento remoto possuem resolução espacial, resolução espectral, resolução temporal e resolução radiométrica, termos estes, que podem ser definidos da seguinte maneira (FENG et al. 2022):

- **Resolução Espacial:** Refere-se à capacidade de um sensor em distinguir e representar detalhes espaciais na superfície terrestre. Está relacionada com o tamanho do menor objeto ou elemento que pode ser distinguido em uma imagem. Uma alta resolução espacial significa que o sensor pode captar pequenos detalhes, enquanto uma baixa resolução espacial indica que apenas características maiores podem ser identificadas. A resolução espacial é geralmente expressa em metros por pixel.
- **Resolução Espectral:** Refere-se à capacidade de um sensor em medir e registrar energia eletromagnética em diferentes bandas espectrais do espectro eletromagnético. Cada banda espectral corresponde a uma faixa específica do espectro, como o visível, infravermelho próximo ou infravermelho térmico. A resolução espectral é determinada pelo número de bandas espectrais que um sensor pode detectar e pela largura dessas bandas. Uma maior resolução espectral permite uma análise mais detalhada das características e propriedades dos alvos na superfície terrestre.
- **Resolução Temporal:** Refere-se à frequência com que um sensor é capaz de coletar dados sobre uma determinada área ao longo do tempo. Está relacionada com a periodicidade das imagens ou dados adquiridos. Uma alta resolução temporal significa que o sensor é capaz de capturar imagens ou dados com maior frequência, possibilitando a análise de mudanças e processos dinâmicos ao longo do tempo. Por exemplo, um sensor com resolução temporal diária captura imagens todos os dias, enquanto um sensor com resolução temporal mensal captura imagens uma vez por mês.
- **Resolução Radiométrica:** Refere-se à capacidade de um sensor em medir e registrar a intensidade da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos na superfície terrestre. Está relacionada com o número de valores que um sensor pode distinguir em sua

escala de medição. Uma maior resolução radiométrica permite uma melhor distinção e representação das variações sutis de brilho ou cor nas imagens. É geralmente expressa em bits, representando o número de valores discretos que podem ser atribuídos a cada pixel da imagem. Por exemplo, uma resolução radiométrica de 8 bits permite a representação de 256 tons de cinza ou cores diferentes em cada pixel.

Os primórdios das pesquisas com as AVU surgiram com o intuito de avaliar de florestas urbanas e suburbanas. As cidades se aproveitaram das ferramentas fornecidas pelos Sistemas de Informação Geográficas – SIGs, como por exemplo, as imagens de sensoriamento remoto, para mapeamento e registros de dados relacionadas a edifícios e prédios. Os SIGs são usados principalmente para mapear áreas verdes urbanas e inventariar e monitorar recursos florestais, tendo em vista a importância da avaliação das constantes mudanças nas características espaciais para o manejo florestal (FARKAS et al. 2023).

### 3.3.5. *Missão Sentinel 2*

Em 2014, foi iniciado o lançamento da série de satélites SENTINEL, que surgiu como um projeto da Agência Espacial Europeia (ESA) e da Comissão Europeia, como parte do Programa Copernicus. Essa série foi concebida com o objetivo de dar continuidade a algumas missões antigas supervisionadas pela ESA, como ERS, ENVISAT e SPOT, e tem como propósito monitorar os recursos naturais da Terra, o uso e ocupação do solo, os ambientes marinhos, o clima e os desastres naturais. Inicialmente, essa missão era conhecida como Global Monitoring for Environment and Security (GMES), mas em 2012 foi renomeada para Sentinel (EMBRAPA, 2023?).

A missão é composta por conjuntos de satélites especializados, cada um adequado a diferentes áreas de interesse. Os satélites SENTINEL-1 são utilizados para monitorar tanto a terra quanto os oceanos, equipados com sensores de radar. O par de satélites SENTINEL-2 foi projetado para monitorar vegetação, solos e áreas costeiras, possuindo um sensor óptico de alta resolução espacial. Por outro lado, a terceira série é dedicada ao monitoramento marinho, equipada com sensores ópticos e radares específicos para esse fim. As séries 4 e 5 são empregadas no monitoramento da qualidade do ar. (EMBRAPA, 2023?).

A missão SENTINEL-2 consiste em dois satélites idênticos, SENTINEL-2A e SENTINEL-2B, que foram lançados usando o lançador europeu VEGA. Cada um desses satélites pesa aproximadamente 1,2 toneladas. A vida útil do satélite é de 7,25 anos, incluindo uma fase de comissionamento de 3 meses em órbita. Baterias e propelentes foram fornecidos para acomodar 12 anos de operações, incluindo manobras de para retirar o satélite da órbita no final da sua vida útil. Os dois satélites SENTINEL-2 operam simultaneamente, com uma diferença de fase de 180° entre si, em uma órbita heliossíncrona a uma altitude média de 786 km (ESA, 2023?a).

O sistema de satélite SENTINEL-2 foi desenvolvido por um consórcio industrial liderado pela Astrium GmbH (Alemanha). A Astrium SAS (França) é responsável pelo Instrumento Multiespectral (MSI, na sigla em inglês). O MSI funciona passivamente, coletando a luz solar refletida pela Terra. Novos dados são adquiridos pelo instrumento à medida que o satélite se move ao longo de sua órbita. O feixe de luz incidente é dividido por um divisor de feixe e focalizado em dois conjuntos separados de planos focais dentro do instrumento: um para bandas visíveis e infravermelhas próximas (VNIR, na sigla em inglês) e outro para bandas infravermelhas de ondas curtas (SWIR, na sigla em inglês). A separação espectral de cada banda em comprimentos de onda individuais é realizada por filtros de faixa montados sobre os detectores. O design óptico do telescópio MSI permite um Campo de Visão (FOV) de 290 km (ESA, 2023?a).

### 3.3.6. *NDVI*

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, identificado pela sigla em inglês NDVI ou Normalized Difference Vegetation Index, é um indicador para a análise da vegetação, que combina o espectro com os dados usando a sensibilidade de certas bandas de satélite à reflectância da vegetação (SONG et al. 2021).

A faixa encontrada de NDVI varia entre os valores de -1 e 1, com valores próximos de 1 indicando um aumento da cobertura vegetal; valores em 0 indicando a presença de rochas ou solo exposto; e valores abaixo de 0, indicando a presença de água, na forma de lagos, rios, nuvens, neve, dentro outros (SONG et al. 2021). A Equação 3.2 apresenta o cálculo utilizado para determinação do NDVI.

## Equação 3.2 – Cálculo do NDVI

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR = Infravermelho próximo

R = Vermelho

O NDVI possui diversas aplicações, dentre elas a avaliação e caracterização da cobertura do solo e simulação da dinâmica de ambientes vegetais. O índice funciona como um bom indicador para a avaliação do crescimento e da saúde de plantas (LI et al. 2021).

Aplicações mais práticas do NDVI envolvem a sua utilização para avaliação do desempenho de culturas no setor agrícola (WHETTON et al. 2017) e na identificação de tendências associadas a sazonalidade em locais de ampla cobertura vegetal (RHIF et al. 2022), dentre outras.

## 4. METODOLOGIA

A local de estudo utilizado neste trabalho foi referente área do município de Belo Horizonte – BH. O município é a capital do estado de Minas Gerais possuindo, de acordo com dados estimados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2021, uma área de 33.135,4 hectares e uma população de 2.530.701 pessoas (IBGE, 2021).

### 4.1. Definição das áreas verdes a serem mensuradas

Para este trabalho, foram considerados como áreas verdes, todo o tipo de vegetação presente no município de BH, sendo incluídas áreas como parques, canteiros centrais, praças, campos de futebol, terrenos baldios, unidades de conservação e quaisquer outras áreas públicas ou privadas que possuam algum tipo de vegetação.

O processo de obtenção das áreas ocupadas pelas áreas verdes presentes dentro dos limites territoriais do município de Belo Horizonte, é descrito no tópico 4.4. A Figura 4.1 apresenta alguns exemplos das áreas verdes avaliados pela metodologia deste trabalho.

**Figura 4.1** – Exemplos de áreas verdes considerados na metodologia



Canteiro central: Cruzamento entre a Avenida Amazonas e a Avenida Barbacena, localizadas no centro de Belo Horizonte.



Fonte: Google Earth (2023?)

Parque: Parque Municipal Américo Renné Giannetti, é o patrimônio ambiental mais antigo do município, localizado no centro de Belo Horizonte.



Fonte: Luiz Carlos Antunes Tavares, Google Earth (2023?)

Praça: Praça Raul Soares, uma das principais do município, localizada no centro de Belo Horizonte.



Fonte: Google Earth (2023?)

Terreno baldio: Viaduto da Avenida Amazonas sobre a linha férrea, próximo ao viaduto da Avenida Amazonas com a Avenida Tereza Cristina.



Fonte: Google Earth (2023?)

Unidade de conservação: Parque Estadual Serra Verde, um dos principais parques situados na região norte de Belo Horizonte, próximo a Cidade Administrativa do Estado.



Fonte: Google Earth (2023?)

#### 4.2. Definição do método de valoração dos serviços ecossistêmicos

Para a estimativa da valoração dos serviços ecossistêmicos, foi utilizada a metodologia desenvolvida no artigo “Changes in the global value of ecosystem services” de Costanza et al. (2014), que assume um valor unitário em dólar, por área, anual, para diversos tipos de ecossistemas em todo o planeta, ecossistemas esses, chamados de biomas, dentro da classificação deste método de valoração. Para tanto, será adotado nesse trabalho, o termo “serviço ecossistêmico” para toda referência de bioma mencionada no trabalho de Costanza et al. (2014).

Inicialmente, para a utilização do método é necessário determinar os biomas a serem utilizados para a área de estudo, conforme a respectiva metodologia. Para o município de BH, conforme as informações disponibilizadas no IDE-SISEMA (2023?), os principais biomas presentes na área de BH são o Cerrado e Mata Atlântica e, considerando tais biomas, a classificação de “Floresta Tropical” foi selecionada como a opção mais condizente dentre aquelas presentes na metodologia de Costanza et al. (2014) para a cidade de BH.

Considerando a classificação de Floresta Tropical, a metodologia adota um valor unitário de US\$5.381,00 por hectare, por ano, para todos os serviços ecossistêmicos somados. De acordo com esta metodologia, cada serviço ecossistêmico possui um valor unitário por hectare, por ano, específico. Desta forma, será adotado nesse trabalho a inferência desse valor para os cálculos de valoração das áreas verdes de BH a partir das análises das imagens de satélite no período entre 2017 a 2022. A motivo da escolha deste período de análise é descrito no tópico 4.3.

Para o cálculo dos valores dos serviços ecossistêmicos totais, considerou-se o produto entre área encontrada para as áreas verdes e o “Valor do Total de Serviços Ecossistêmicos” do bioma Floresta Tropical da metodologia de Costanza et al. 2014, que neste caso é US\$5.381,00/ha/ano, sendo encontrado o valor se serviços ecossistêmicos totais por ano. A Equação 4.1 exemplifica tal operação.

Equação 4.1 – Valor dos serviços Ecossistêmicos das áreas verdes de Belo Horizonte

$$VSE = U \cdot [M] \cdot AVU[ha]$$

Onde:

VSE = Valor dos Serviços Ecossistêmicos

U = valor unitário de US\$5.381,00 por hectare, por ano, para todos os serviços ecossistêmicos de acordo com metodologia Costanza et al. (2014)

[M] = Unidades de medida, descrita por  $\frac{US\$}{ha.ano}$

AVU = Área das áreas verdes urbanas

De modo análogo, procedeu-se para o cálculo dos serviços ecossistêmicos específicos, considerando que a metodologia de Costanza et al. 2014, adota a classificação de serviços ecossistêmicos da metodologia TEEB (TEEB, 2012) sendo encontrado o valor de serviços ecossistêmicos específicos por ano para cada classe de serviço ecossistêmico.

### 4.3. Obtenção das imagens de satélite

A metodologia de quantificação das áreas verdes presentes em BH se deu por meio do uso da técnica de NDVI, através do processamento das imagens do satélite do Sentinel 2. As imagens utilizadas foram obtidas por meio da plataforma do Sentinel Hub, chamada de EO Browser (Sentinel Hub, 2023?), sendo coletadas imagens de satélite anuais desde o início da missão Sentinel 2.

Apesar de o início da missão Sentinel 2 ter sido no ano de 2015 (ESA, 2023?b), as primeiras imagens da área de BH disponibilizadas são referentes ao ano de 2017. Desta forma, as imagens apresentadas neste trabalho são referentes aos intervalos entre os anos de 2017 a 2022.

Devido as condições atmosféricas e de tempo de revisita do Sentinel 2, de 5 dias, não foi possível obter imagens de um mesmo dia para cada um dos anos, com o intervalo das imagens obtidas variando entre o período de 30 de junho a 30 de julho de cada ano. Este período foi escolhido por estar inserido dentro da estação de inverno do hemisfério sul, entre o final do mês de junho e final do mês de setembro, considerando que as condições atmosféricas deste período são mais estáveis.

Para a obtenção das imagens do Sentinel 2 na plataforma EO Browser, foram considerados 2 filtros, além dos filtros de data, com o primeiro deles sendo a seleção da opção “L2A (atmospherically corrected)”, já que conforme (LI et al. 2021), as imagens das diversas missões já lançadas em órbita, como as do MODIS, LandSat e Sentinel, possuem interferências na reflectância associadas a condições atmosféricas, como por exemplo, a presença de nuvens, com a seleção deste filtro propiciando a minimização dos impactos causados por essas possíveis interferências.

O segundo filtro utilizado foi o da opção “Max. cloud coverage” que foi ajustada em “5%”, de forma que todas as imagens obtidas, possuíssem uma cobertura de nuvens de apenas 5% em relação a área selecionada, de forma a facilitar a obtenção de imagens com a ausência de nuvens, com todas as imagens obtidas não possuindo a presença de nuvens. Por fim, por meio da opção “Create an area of interest”, selecionou-se um retângulo em volta da área referente ao município de BH, com este retângulo sendo referente as dimensões da imagem a ser obtida. Na Tabela 4.1, são apresentas informações sobre as imagens de satélite.

**Tabela 4.1** – Data das imagens de satélite obtidas

n°	Data	Intervalo entre datas
1	01/07/2017	-
2	21/07/2018	385
3	11/07/2019	355
4	30/07/2020	385
5	05/07/2021	340
6	30/06/2022	360

Fonte: De autoria própria (2023).

#### 4.4. Obtenção das áreas das AVUs

Tendo sido obtidas as imagens de satélite, as mesmas passaram por alguns processamentos para a correta obtenção da área das AVUs. Todos os processamentos realizados nas imagens do Sentinel 2, foram feitos por meio do software QGIS, em sua versão 3.22.13. A sequência de procedimentos adotados no processamento das imagens de satélite pode ser vista a seguir.

##### 4.4.7. NDVI

O primeiro passo para a obtenção da área das AVU foi a aplicação da técnica de NDVI nas imagens de satélite obtidas. Para isso, foram utilizadas as bandas 4 e 8 do Sentinel 2 referente as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente, dentro da ferramenta “Calculadora Raster” do software QGIS, sendo feitas as operações conforme a Equação 3.2, obtendo-se uma imagem única referente a operação realizada.

##### 4.4.8. Recorte das imagens de satélite

Após obtenção da imagem única, esta imagem foi recortada com base nos limites municipais de BH, obtidos como base em um arquivo vetorial, no formato shapefile, oriundo da plataforma IDE-SISEMA, de forma a reduzir o tempo de processamento das etapas posteriores e facilitar a obtenção das AVUs para a exata área de BH. A ferramenta utilizada para o recorte foi a encontrada na opção “Recortar raster pela camada de máscara”.

##### 4.4.9. Reclassificação

Tendo em vista que os resultados obtidos para o NDVI, estão inseridos entre os valores de -1 e 1, é necessário realizar uma reclassificação da imagem obtida de NDVI para propiciar a organização dos valores de NDVI em escalas que se adequem a metodologia aplicada. Da

mesma forma, a divisão em classes auxilia a obtenção das áreas das AVUs, no processo de transformação da imagem Raster em Vetor, que será explicado no tópico 4.4.10.

A ferramenta utilizada para a reclassificação foi a “r.recode”. As escalas adotadas para as imagens de satélites foram as seguintes:

E1 → NDVI menor que 0,2: identifica a presença de terrenos urbanizados com ausência de vegetação. Valores abaixo de zero indicam a presença de água;

E2 → NDVI maior que 0,2, e menor ou igual a 0,4: identifica a presença de solo exposto, com ausência de vegetação;

E3 → NDVI maior que 0,4, e menor ou igual a 0,6: identifica a presença vegetação rasteira;

E4 → NDVI maior que 0,6, e menor ou igual a 0,8: identifica a presença de áreas verdes caracterizados por vegetações de médio porte e mais bem desenvolvidas;

E5 → NDVI maior que 0,8: identifica vegetação de maior porte e com melhores condições morfológicas e fisiológicas.

Somente as áreas obtidas das escalas E3, E4 e E5, foram utilizadas para os cálculos de valoração, tendo em vista que a avaliação da cobertura do solo das imagens da Sentinel 2, mostraram que as áreas urbanizadas, de solo exposto e de coberta por água, foram demarcadas por um índice NDVI abaixo de 0,4.

#### *4.4.10. Raster para Vetor*

Após a reclassificação, as imagens foram transformadas do formato Raster para o formato Vetor, de forma a facilitar, por meio da tabela de atributos dos vetores, o somatório das áreas de cada classe definida no tópico 4.4.9. Essa transformação foi executada por meio da ferramenta encontrada na opção “Raster para vetor (poligonizar)”.

#### *4.4.11. Obtenção da área*

Após a obtenção das imagens em formato “Vetor”, a tabela de atributos passou a estar disponível com a presença dos pixels das imagens reclassificados, de acordo com as escalas

determinadas no tópico 4.4.9. Desta forma, a partir da ferramenta “Abrir calculadora de campo” foram obtidos para cada pixel o valor de área ocupada pelos mesmos, selecionando-se no campo “row\_number” a opção “geometria” e na lista que se abriu a opção “\$area”. Tendo em vista que a opção “\$area” fornece valores de área em  $m^2$ , a expressão foi dividida por 10000, de forma que ela fosse mostrada da seguinte maneira “\$area / 10000”, obtendo-se os valores em hectares. Na sequência, a expressão foi executada, com a área em hectare sendo atribuída para cada pixel.

Com isso, a quantificação da área ocupada por cada escala foi obtida, por meio da ferramenta encontrada na opção “Mostrar resumo estatístico”, de forma que, quando se selecionava todos os pixels de uma mesma escala, a ferramenta mostrava os valores de área respectivos para a seleção. Esses valores foram registrados em planilha do Excel, para posterior cálculo dos valores dos serviços ecossistêmicos das AVUs.

#### **4.5. Estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos das AVUs**

Para facilitar os cálculos de valoração dos serviços ecossistêmicos das AVUs, foram inseridos os valores de área obtidos em uma planilha do Excel e, aplicando-se a Equação 4.1, foram obtidos os valores dos serviços ecossistêmicos das AVUs para cada ano referente a imagens de satélite, valores esses que podem ser vistos no tópico 5.2.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, será feita a descrição dos resultados, apresentando os dados obtidos por meio do satélite Sentinel 2. Em seguida, os dados do satélite Landsat 8 serão apresentados, incluindo uma breve comparação com os resultados do satélite Sentinel 2. Por fim, serão apresentados os resultados da valoração dos serviços ecossistêmicos, destacando o satélite que demonstrou maior precisão.

### 5.1. Áreas das AVUs obtidas por meio das imagens do Sentinel 2

A primeira etapa de obtenção de resultados foi referente as áreas ocupadas por cada escala de NDVI, definida conforme tópico 4.4.9. Os valores de área obtidos podem ser vistos na Tabela 5.1.

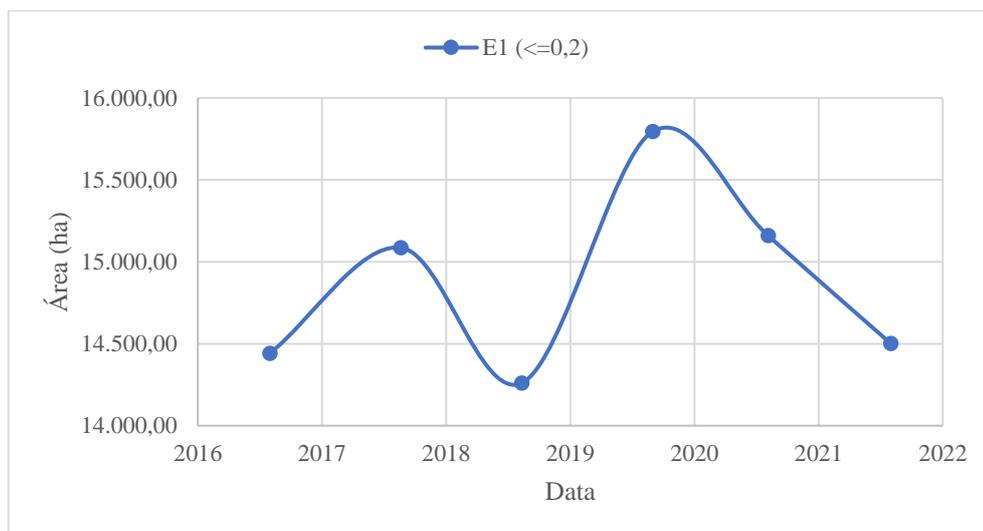
**Tabela 5.1** – Áreas obtidas para cada escala de NDVI por meio das imagens do Sentinel 2

Data	Área (ha)					E3 + E4 + E5	Total
	E1 (<=0,2)	E2 (0,2 - 0,4)	E3 (0,4 - 0,6)	E4 (0,6 -0,8)	E5 (>=0,8)		
01/07/2017	14.441,65	7.611,01	5.277,04	3.866,54	1.924,35	11.067,93	33.120,59
21/07/2018	15.086,20	8.322,91	4.927,33	3.162,57	1.623,39	9.713,29	33.122,40
11/07/2019	14.260,10	8.051,47	5.091,22	3.771,69	1.950,96	10.813,87	33.125,44
30/07/2020	15.794,50	7.822,06	4.779,78	3.317,95	1.408,84	9.506,57	33.123,13
05/07/2021	15.159,00	9.379,08	5.563,05	3.024,59	3,97	8.591,61	33.129,69
30/06/2022	14.502,20	8.215,81	5.199,01	4.019,60	1.190,03	10.408,64	33.126,65

Fonte: De autoria própria (2023).

Aos valores demonstrados na tabela evidenciam uma variação entre as escalas de detecção de NDVI ao longo dos anos. Conforme (LI et al. 2021), a aplicação de correções atmosféricas nas imagens, como foi o caso considerado para estas imagens, pode minimizar os impactos as possíveis interferências causadas por fatores atmosféricos, entretanto, a correção não elimina por completo essas interferências.

Outro fator a ser considerado é a própria condição da vegetação, tendo em vista que a variação nas condições morfológicas e fisiológicas das plantas são naturais e podem apresentar diferenças, principalmente quando as análises envolvem um espaço de tempo longo (CORDEIRO et al. 2017). Os resultados gráficos das áreas obtidas na Tabela 5.1, podem ser vistos nas figuras a seguir.

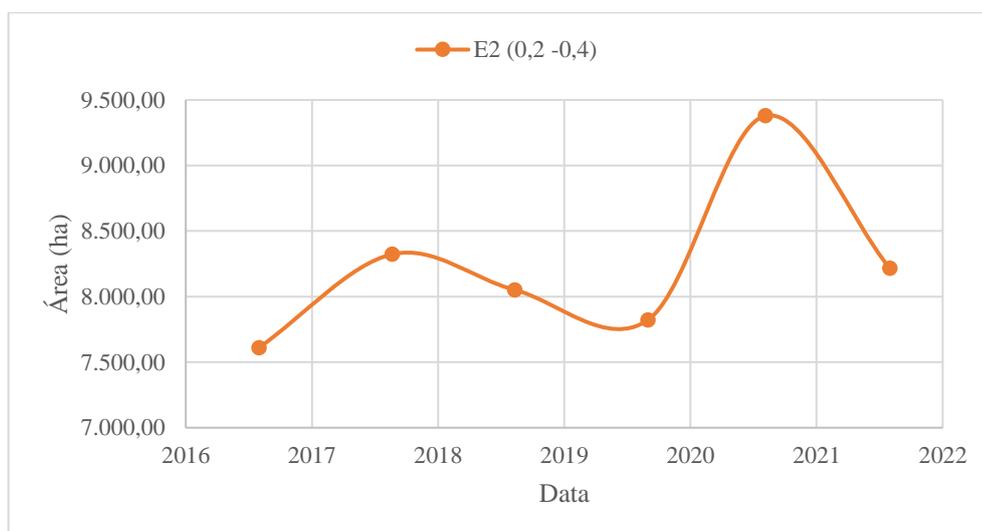
**Figura 5.1** – Variação da área para a escala E1 por meio das imagens do Sentinel 2

Fonte: De autoria própria (2023).

A escala E1 identifica a presença de terrenos urbanizados com ausência de vegetação, condições essas que representam grande parte do ambiente urbano. Conforme o recorte adotado para a escala E1 neste trabalho, que está entre os valores -1 e 0,2 de NDVI, essa escala pode ser influenciada pela presença de água, que é caracterizada com valores de NDVI abaixo de 0.

Considerando o contexto da lagoa da Pampulha que é um dos principais recursos hídricos da cidade, devido a presença de algas em seu leito (FEITOSA, 2022), os valores e refletância podem variar significativamente, já que a ausência de algas visíveis da atmosfera mantém o valor de NDVI abaixo de 0, enquanto a presença das algas de forma visível da atmosfera pode aumentar os valores do NDVI para valores acima de 0,6. Essa variação pode ser observada nas imagens do Sentinel 2 de 2017 e 2018, que podem ser vistas no APÊNDICE A – IMAGENS DE NDVI DO SENTINEL 2, na Figura 9.1 e na Figura 9.2, respectivamente.

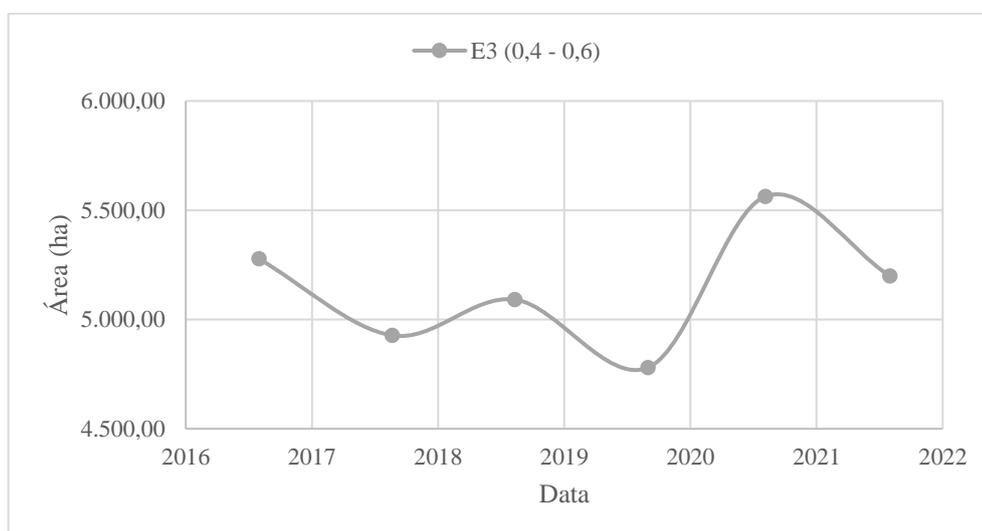
**Figura 5.2** – Variação da área para a escala E2 por meio das imagens do Sentinel 2



Fonte: De autoria própria (2023).

A escala E2 identifica a presença de solo exposto, com ausência de vegetação. A condição de variação do gráfico possui um contraste entre no ano de 2020 em comparação com a escala E1, com os demais anos seguindo uma tendência semelhante entre as escalas E1 e E2.

**Figura 5.3** – Variação da área para a escala E3 por meio das imagens do Sentinel 2

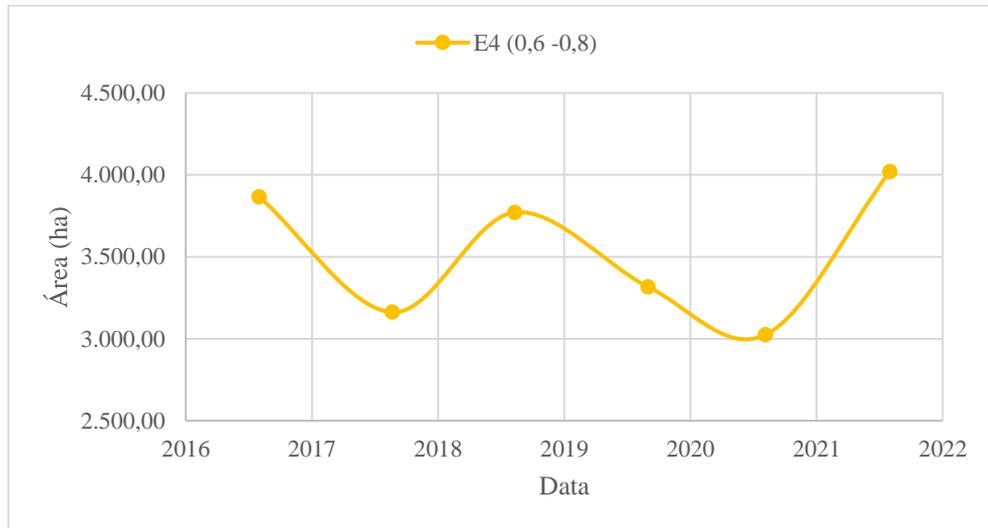


Fonte: De autoria própria (2023).

Por meio da escala E3, é possível identificar uma vegetação rasteira. É interessante notar que para as escalas E1 e E2, houve uma queda na detecção de áreas no ano de 2017, ao contrário da escala E3, onde no ano de 2017 houve um pico, indicando que a vegetação rasteira foi

beneficiada nesta época do ano. O contrário ocorre no ano de 2018, onde ocorre um pico para as escalas E1 e E2 e uma queda para a escala E3, indicando que a vegetação foi afetada.

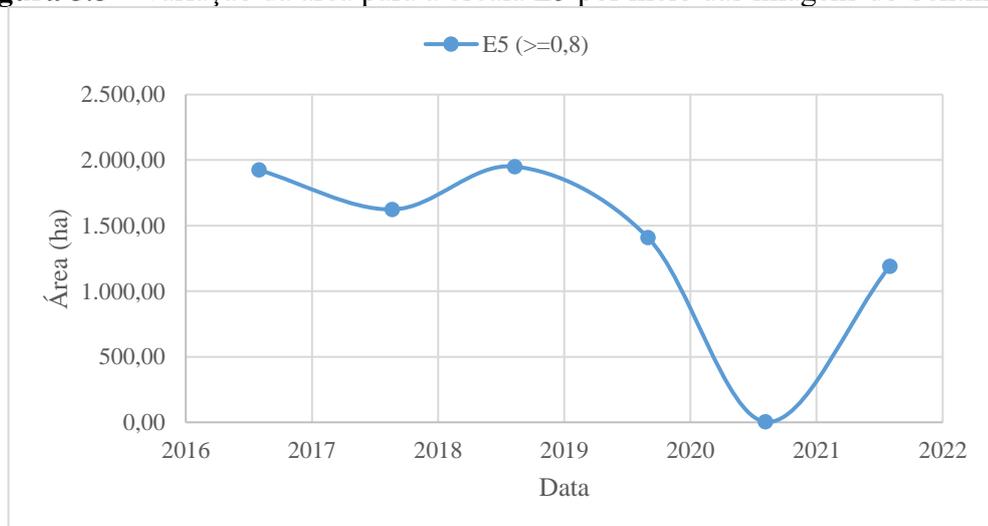
**Figura 5.4** – Variação da área para a escala E4 por meio das imagens do Sentinel 2



Fonte: De autoria própria (2023).

Por meio da escala E4 é possível identificar a presença de áreas verdes caracterizados por vegetações maiores e mais bem desenvolvidas, em comparação com a escala E3. Por meio desta escala, em comparação com as demais, é possível observar que as áreas verdes foram afetados, principalmente nos anos de 2018 e 2021, considerando os vales nos gráficos das escalas E3 e E4 e os picos nos gráficos das escalas E1 e E2.

**Figura 5.5** – Variação da área para a escala E5 (>=0,8) por meio das imagens do Sentinel 2

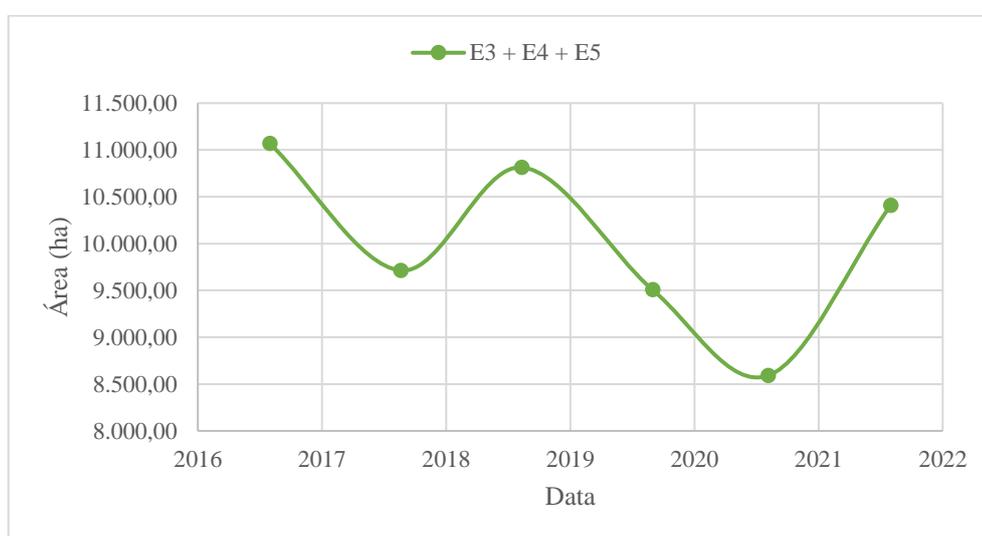


Fonte: De autoria própria (2023).

Por fim, por meio da escala E5 é possível identificar vegetação de maior porte e com melhores condições morfológicas e fisiológicas. Esta escala mantém uma certa constância ao longo dos anos, apresentando uma queda brusca de detecção no ano de 2021, corroborando com os valores das escalas anteriores.

Considerando que as escalas E3, E4 e E5 representam as áreas verdes, a Figura 5.6 demonstra o somatório das áreas verdes ao longo dos anos.

**Figura 5.6** – Variação da área para as AVUs por meio das imagens do Sentinel 2



Fonte: De autoria própria (2023).

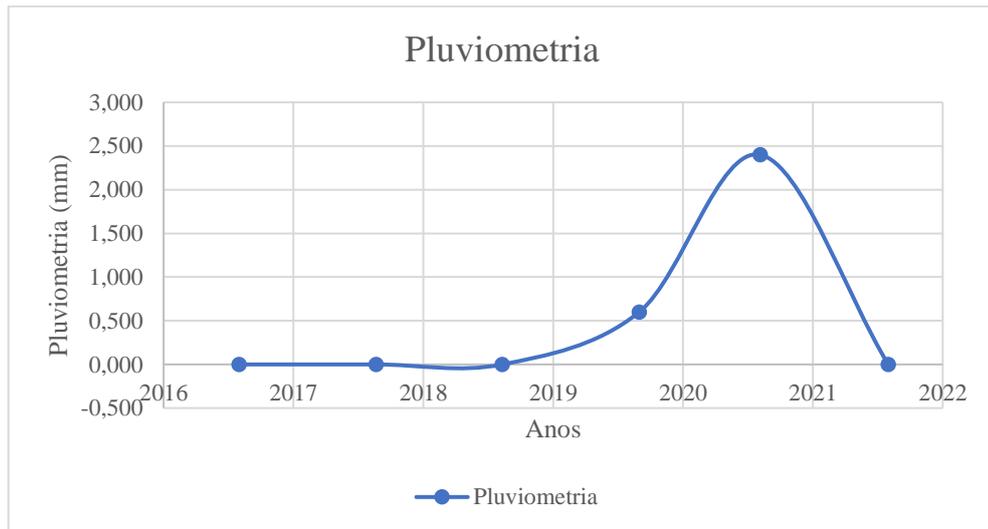
A quantidade de áreas verdes total mensuradas ao longo dos anos evidência as tendências de queda nos anos de 2018, 2020 e, principalmente, em 2021, com os anos de 2017, 2019 e 2022 demonstrando uma recuperação, porém, com valores cada vez menores ao longo do tempo.

Um fator que pode explicar a recuperação no ano de 2022, é a ocorrência da pandemia de COVID-19, que reduziu de forma considerável as atividades antrópicas ao longo dos anos de 2020 e 2022, com o período próximo a data de 30/06/2022, referente a data da imagem de satélite, representando o período final de restrições as atividades antrópicas (SENADO FEDERAL, 2022). No período mais intenso da pandemia, as atividades antrópicas foram limitadas, o que pode ter influenciado nos impactos causados por essas atividades na vegetação.

A vegetação pode ser influenciada por diversos fatores, dentre eles a pluviosidade. Tendo isso em vista, com base em dados do INMET (2023?), obtidos da estação pluviométrica Belo

Horizonte – Cercadinho, foi verificada a ocorrência de chuvas nos sete dias anteriores aos dias das imagens de satélite obtidas, com os índices pluviométricos dos sete dias anteriores sendo somados. O resultado pode ser visto na Figura 5.7.

**Figura 5.7** – Soma do índice pluviométrico nos sete dias anteriores às datas das imagens de satélite obtidas

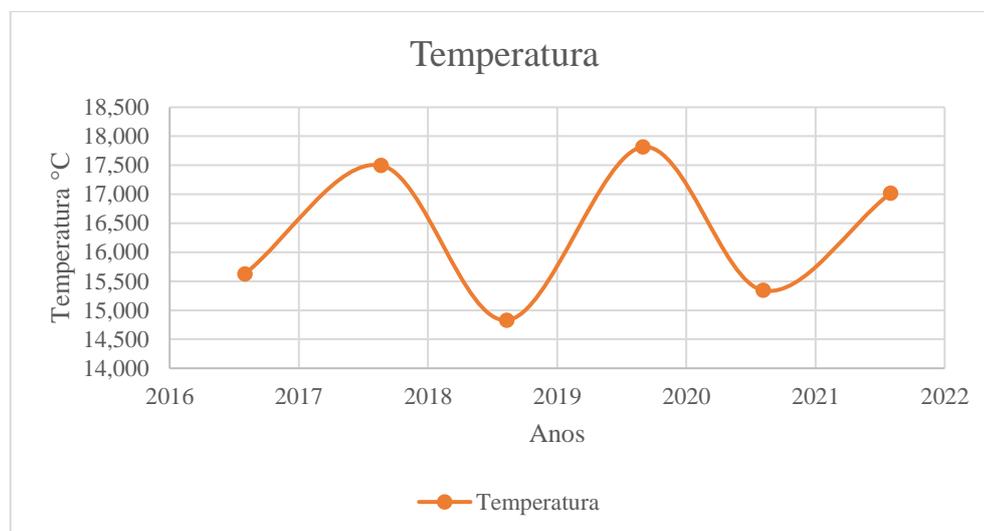


Fonte: Adaptado, INMET (2023?)

O gráfico mostra que houve a ocorrência de chuvas em Belo Horizonte, nos sete dias anteriores as imagens de satélite apenas dos anos de 2020 e 2021, com os demais anos não ocorrendo chuvas. Os anos de 2020 e 2021 foram os que obtiveram os piores resultados em relação ao NDVI. É importante observar que a quantidade de chuva em milímetros foi baixa nos anos dos quais houve precipitação, atingido um valor máximo, somado entre os setes dias, próximo de 2,5 milímetros.

A média de temperatura nos sete dias anteriores aos das imagens de satélites obtidas, foram observados, conforme pode ser visto na Figura 5.8. As temperaturas variaram conforme a passagem dos anos, não sendo possível detectar nenhuma tendência no gráfico de temperatura que possa corroborar com algum valor de área das AVUs detectados.

**Figura 5.8** – Média das temperaturas nos sete dias anteriores às datas das imagens de satélite obtidas



Fonte: Adaptado, INMET (2023?)

Definir os impactos específicos que geram as variações de NDVI na vegetação pode ser uma tarefa difícil, considerando as complexas interações entre os elementos dos ecossistemas, a as diversas funções ecossistêmicas associadas a essas interações, que podem estar associadas a um contexto mais amplo, como a própria influência de precipitações e temperatura, ou a um contexto mais local, associado a atividades antrópicas próximas a cada área verde.

## 5.2. Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das AVUs obtidos por meio das imagens do Sentinel 2

A segunda parte da avaliação dos resultados, passou pela determinação do valor dos serviços ecossistêmicos das AVUs da cidade de BH, com base nas áreas obtidas das AVUs por meio das imagens de satélite. Os resultados da valoração podem ser observados na Tabela 5.2.

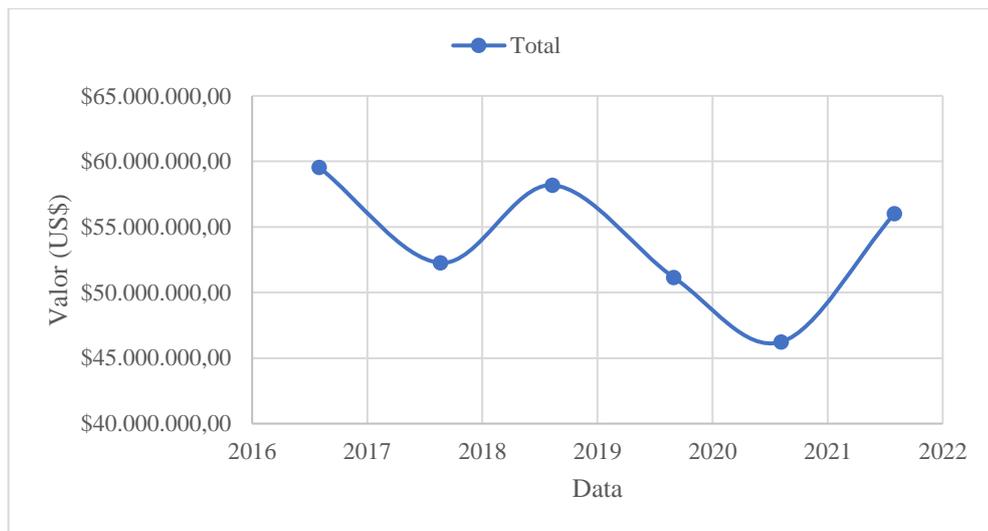
**Tabela 5.2** – Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das AVUs de Belo Horizonte por meio das imagens do Sentinel 2

Data	E3 (0,4 - 0,6) (US\$/ano)	E4 (0,6 -0,8) (US\$/ano)	E5 (>=0,8) (US\$/ano)	Total (US\$/ano)
01/07/2017	28.395.752,24	20.805.851,74	10.354.927,35	59.556.531,33
21/07/2018	26.513.962,73	17.017.789,17	8.735.461,59	52.267.213,49
11/07/2019	27.395.854,82	20.295.463,89	10.498.115,76	58.189.434,47
30/07/2020	25.719.996,18	17.853.888,95	7.580.968,04	51.154.853,17
05/07/2021	29.934.772,05	16.275.318,79	21.384,63	46.231.475,47
30/06/2022	27.975.872,81	21.629.467,60	6.403.551,43	56.008.891,84

Fonte: De autoria própria (2023).

O valor dos serviços ecossistêmicos, em comparação com o ano de 2017 apresentou uma queda até o ano de 2022, com um período de significativa queda para os anos de 2018, 2020 e 2021. Tendo em vista a mesma origem dos dados de área utilizados para o cálculo, a tendência dos valores de valoração é semelhante com as do gráfico apresentado na Figura 5.6, conforme pode ser visto na Figura 5.9.

**Figura 5.9** – Gráfico da variação da Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das AVUs de Belo Horizonte no período entre os anos de 2017 a 2022 por meio das imagens do Sentinel 2



Fonte: De autoria própria (2023).

Em relação a queda da valoração no ano de 2018, apesar de significativa, é semelhante a queda representado no ano de 2020, com os valores variando em altos e baixos entre os anos de 2017 e 2020. Em 2021 ocorre uma queda mais significativa, havendo uma recuperação no ano de 2022.

### 5.3. Análise dos dados obtidos do satélite do Landsat 8

Em comparação aos dados obtidos do satélite Sentinel 2, foram aplicadas as mesmas metodologias descritas no tópico 4, para imagens de satélite do Landsat8, considerando a diferença de que as imagens do Landsat8 foram obtidas por meio da plataforma USGS (United States Geological Survey) e que a correção atmosférica foi realizada por meio do plugin Semi-Automatic Classification Plugin, presente no software QGIS.

As imagens de satélite do Landsat 8 obtidas, são referentes ao período entre os anos de 2017 a 2022. As áreas obtidas por meio do Landsat8 podem ser vistas na Tabela 5.3.

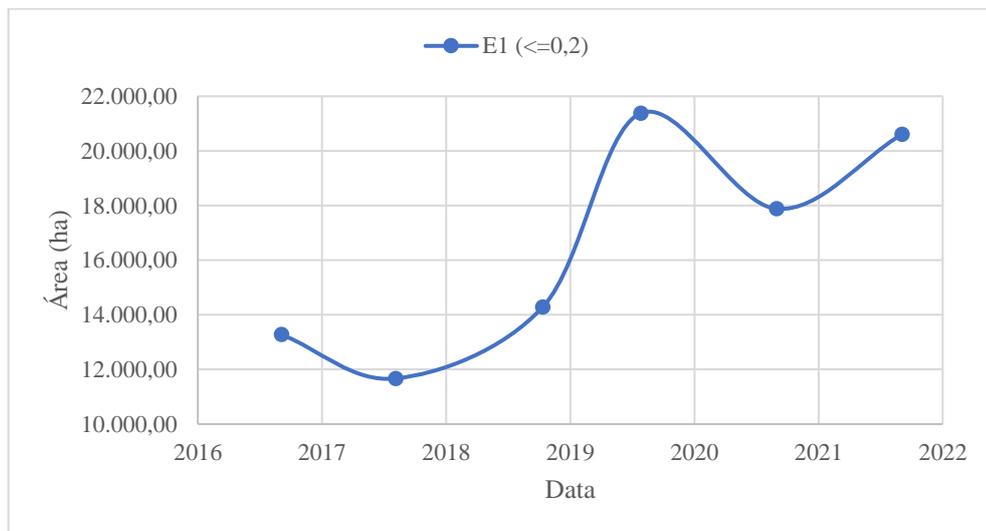
**Tabela 5.3** – Área obtidas para cada escala de NDVI por meio das imagens do Landsat8

Data	Área (ha)						Total
	E1 ( $\leq 0,2$ )	E2 (0,2 -0,4)	E3 (0,4 - 0,6)	E4 (0,6 -0,8)	E5 ( $\geq 0,8$ )	E3 + E4 + E5	
04/08/2017	13.276,18	12.603,04	4.897,75	2.348,29	5,94	7.251,98	33.131,20
06/07/2018	11.669,58	12.037,21	5.659,00	3.603,51	161,81	9.424,32	33.131,11
11/09/2019	14.283,43	12.387,29	4.247,80	2.174,86	37,91	6.460,57	33.131,29
25/06/2020	21.376,86	6.837,97	4.573,39	342,44	0,54	4.916,37	33.131,20
30/07/2021	17.880,84	9.264,15	4.031,42	1.953,17	1,71	5.986,30	33.131,29
02/08/2022	20.609,04	7.885,10	3.750,92	885,95	0,00	4.636,87	33.131,02

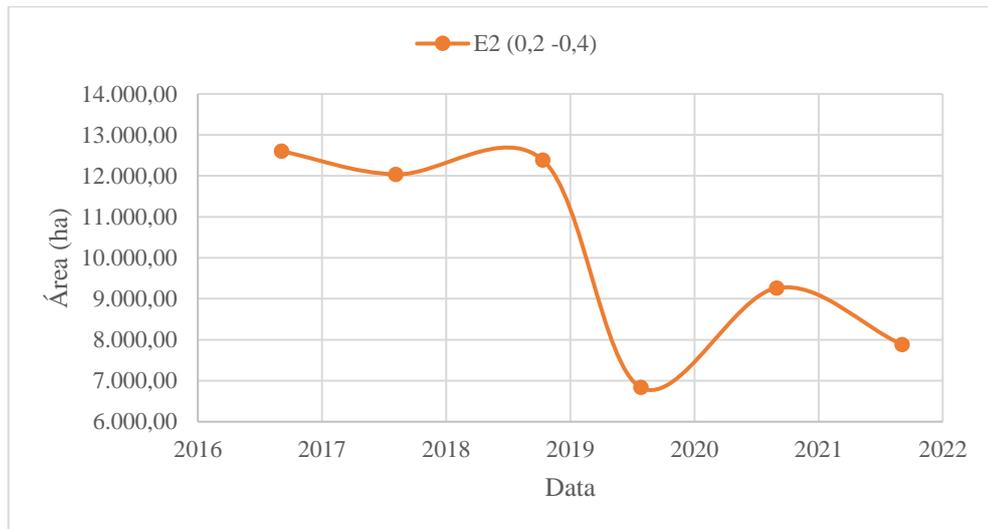
Fonte: De autoria própria (2023).

Os resultados gráficos para cada ano, em cada escala vista na Tabela 5.3, podem ser vistos nas figuras a seguir.

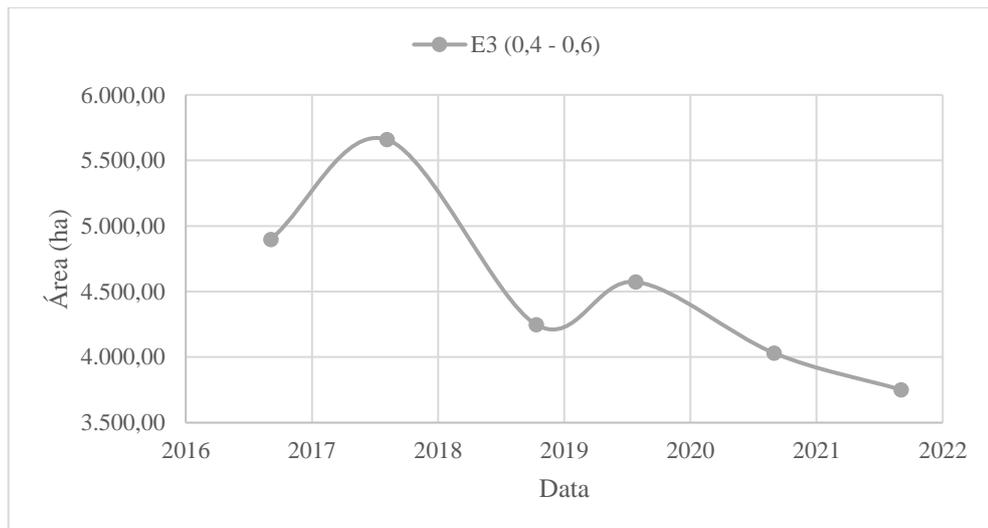
**Figura 5.10** – Variação da área para a escala E1 por meio das imagens Landsat 8



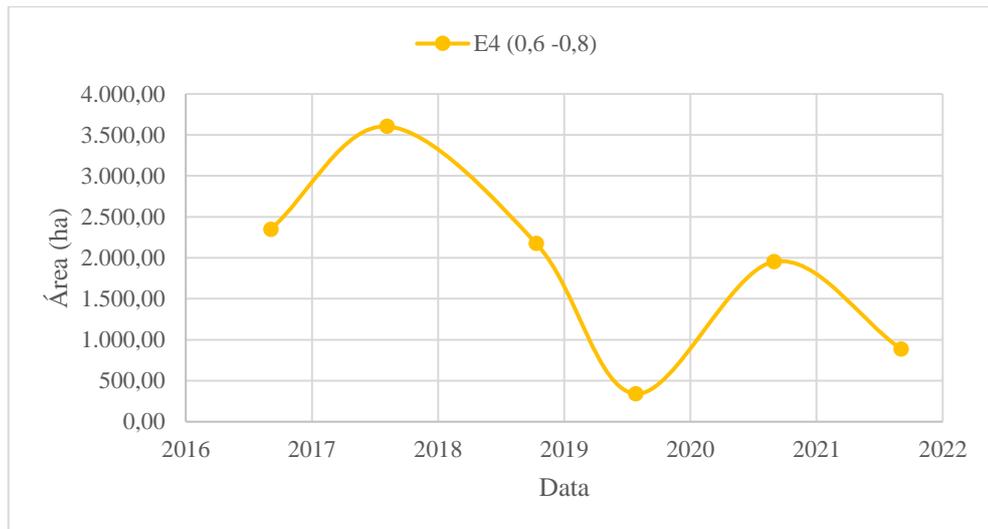
Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 5.11** – Variação da área para a escala E2 por meio das imagens Landsat 8

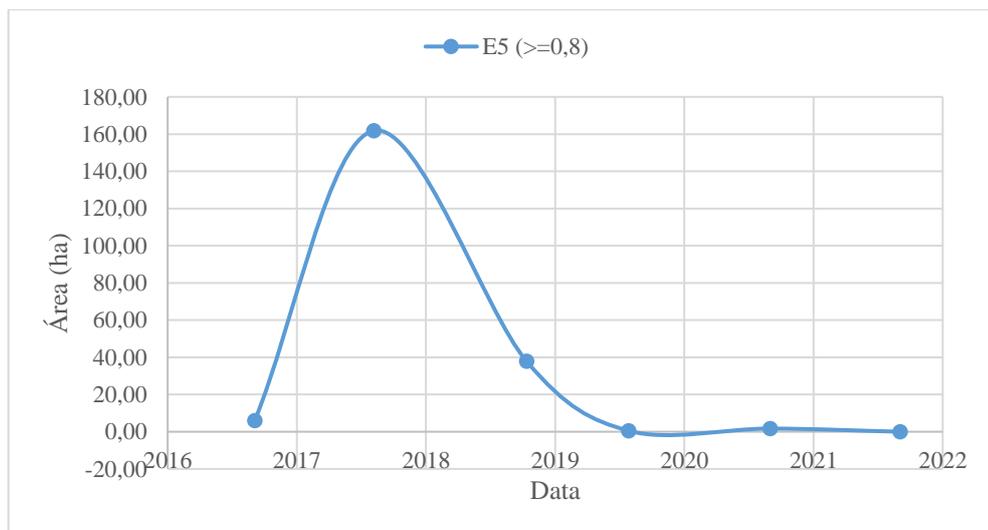
Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 5.12** – Variação da área para a escala E3 por meio das imagens Landsat 8

Fonte: De autoria própria (2023).

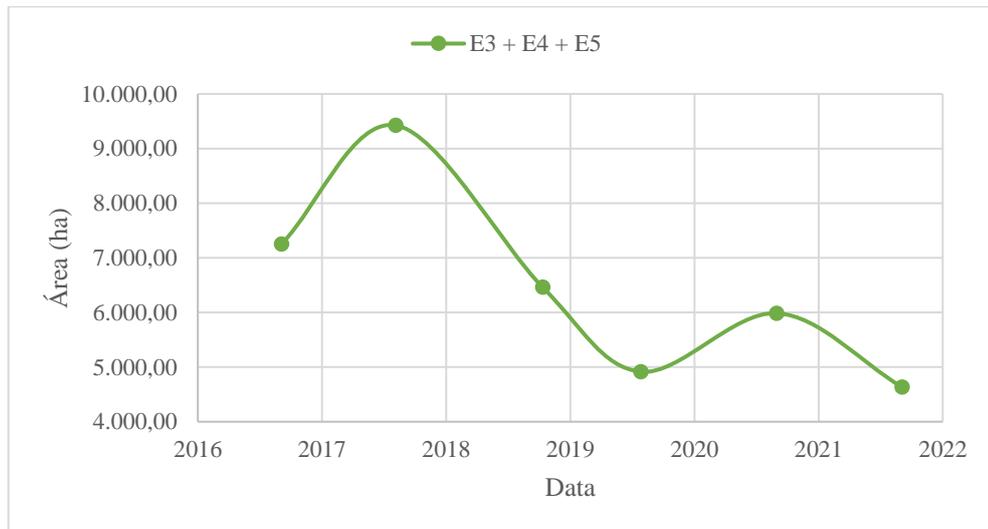
**Figura 5.13** – Variação da área para a escala E4 por meio das imagens Landsat 8

Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 5.14** – Variação da área para a escala E5 (>=0,8) por meio das imagens Landsat 8

Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 5.15** – Variação da área para as AVUs por meio das imagens Landsat 8



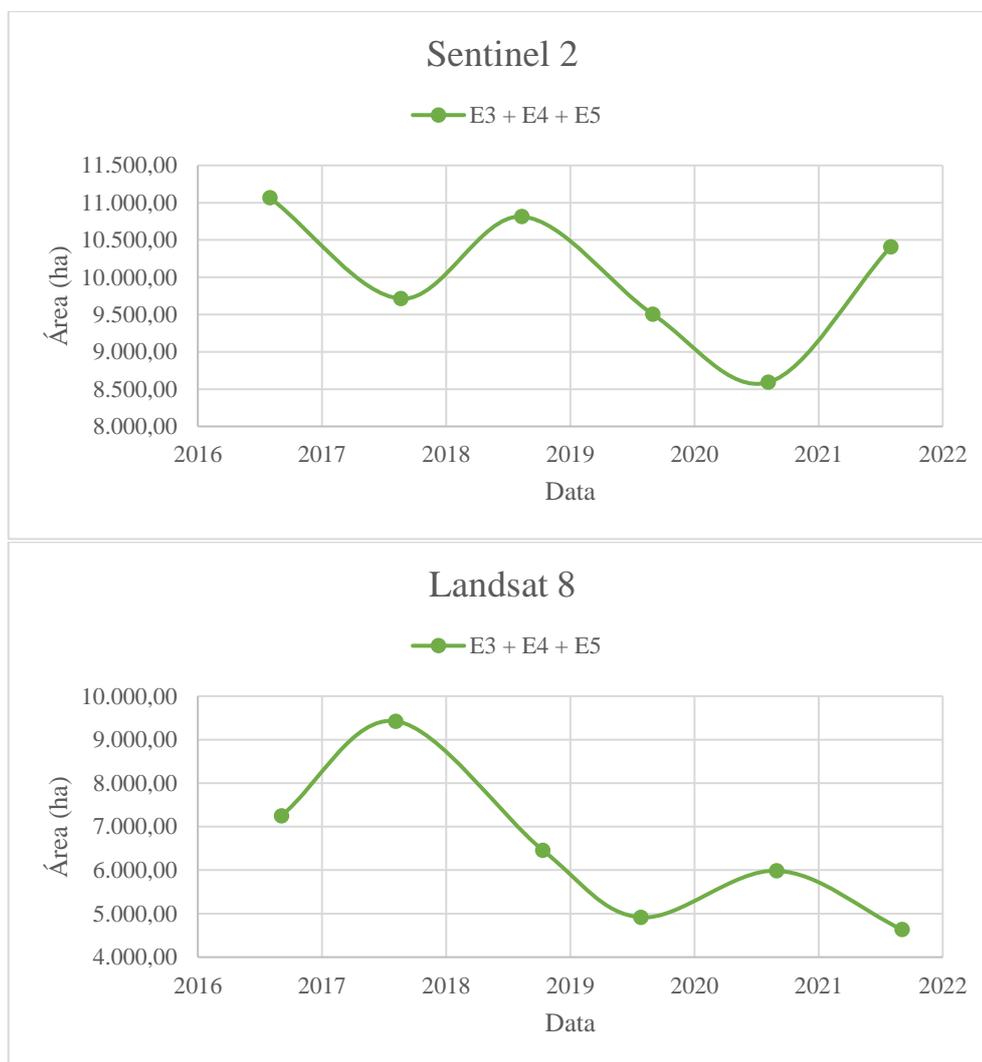
Fonte: De autoria própria (2023).

Em comparação com as imagens obtidas do satélite Sentinel 2, é possível observar que a queda dos valores de área das AVUs detectadas foi em uma taxa maior para o Landsat 8, onde a partir do ano de 2017 houve um aumento para o ano de 2018 e na sequência, houveram quedas nas áreas das AVUs detectadas até o ano de 2020, com 2021 apresentando um ligeiro aumento nas áreas das AVUs detectadas e em 2022 sofrendo uma nova queda para as AVUs. Além disso, para as imagens do Sentinel 2, o ano de 2017 apresentou um valor de área de AVUs maior do que no ano de 2018, o que ocorre de forma contrária para o Landsat 8, já que o ano de 2017 apresentou valores de área de AVUs menores do que o ano de 2018.

Desta forma, os valores de áreas obtidos de ambos os satélites não apresentaram semelhanças entre si, referentes a um ano específico, sendo observadas semelhanças apenas na tendência de variação sazonal das áreas das AVUs ao longo do tempo para todo o período analisado.

Essa diferença entre as imagens de satélite do Sentinel 2 e Landsat 8, mostra como as características das vegetações urbanas, principalmente características de reflectância, podem variar em curtos períodos de tempo, tendo em vista que, apesar de imagens não serem obtidas para o mesmo dia, o período de diferença de datas para cada imagem de satélite foi curto, conforme Tabela 5.4. A comparação entre os gráficos de ambos os satélites, para o mesmo período de tempo entre 2017 a 2022, pode ser vista na Figura 5.16.

**Figura 5.16** – Comparação entre os ambos os satélites quanto a detecção de áreas verdes no período entre os anos de 2017 a 2022



Fonte: De autoria própria (2023).

É possível perceber que o intervalo de detecção de área de áreas verdes observado para ambos os satélites não foi muito distinto, porém, o Landsat 8 detectou uma menor quantidade de áreas verdes, de forma geral, como pode ser visto nos gráficos da Figura 5.16 e na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** – Comparação entre as AVUs detectadas pelo Landsat 8 e Sentinel 2

Landsat 8		Sentinel 2		Distância entre datas (dias)	Diferença de área (ha)
Data	Área E3 + E4+E5 (ha)	Data	Área E3 + E4 + E5 (ha)		
04/08/2017	7.251,98	01/07/2017	11.067,93	34	3.815,95
06/07/2018	9.424,32	21/07/2018	9.713,29	15	288,97
11/09/2019	6.460,57	11/07/2019	10.813,87	62	4.353,30

Landsat 8		Sentinel 2		Distância entre datas (dias)	Diferença de área (ha)
Data	Área E3 + E4+E5 (ha)	Data	Área E3 + E4 + E5 (ha)		
25/06/2020	4.916,37	30/07/2020	9.506,57	35	4.590,20
30/07/2021	5.986,30	05/07/2021	8.591,61	25	2.605,31
02/08/2022	4.636,87	30/06/2022	10.408,64	33	5.771,77

Fonte: De autoria própria (2023).

Considerando a valoração dos serviços ecossistêmicos das AVUs, obtidos por meio da análise das imagens de satélite do Landsat 8, os resultados podem ser vistos na Tabela 5.5.

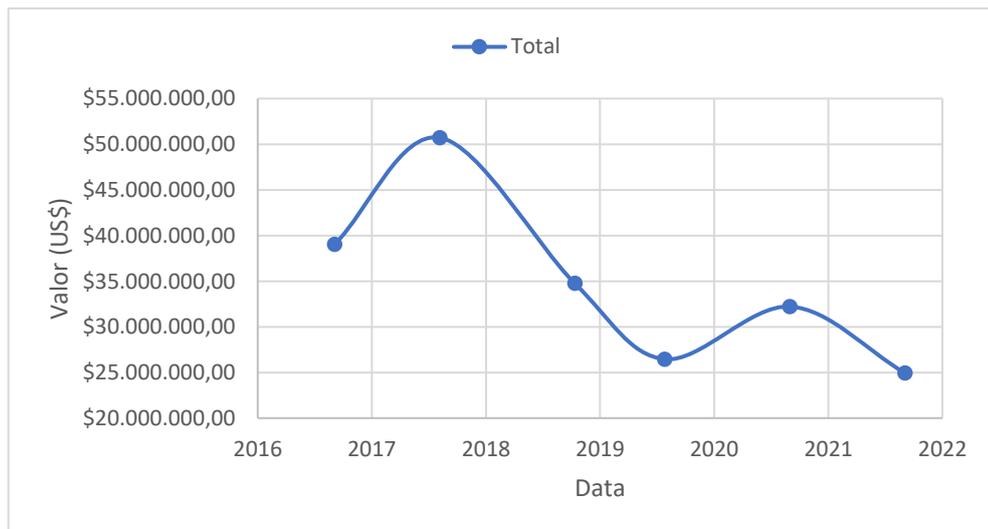
**Tabela 5.5** – Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das AVUs de Belo Horizonte, por meio do Landsat 8

Data	E3 (0,4 - 0,6) (US\$/ano)	E4 (0,6 -0,8) (US\$/ano)	E5 ( $\geq 0,8$ ) (US\$/ano)	Total (US\$/ano)
04/08/2017	26.354.794,90	12.636.145,26	31.979,82	39.022.919,98
06/07/2018	30.451.052,63	19.390.504,53	870.701,22	50.712.258,39
11/09/2019	22.857.406,42	11.702.927,04	203.990,48	34.764.323,94
25/06/2020	24.609.399,21	1.842.675,02	2.907,35	26.454.981,59
30/07/2021	21.693.045,19	10.510.012,61	9.206,35	32.212.264,16
02/08/2022	20.183.700,52	4.767.322,24	0,00	24.951.022,76

Fonte: De autoria própria (2023).

A gráfico referente aos dados da Tabela 5.5, pode ser visto na Figura 5.17.

**Figura 5.17** – Gráfico da variação da Valoração dos Serviços Ecossistêmicos das AVUs de Belo Horizonte no período entre os anos de 2017 a 2022 por meio das imagens do Landsat 8



Fonte: De autoria própria (2023).

As imagens do satélite Landsat 8 utilizadas, podem ser vistas no APÊNDICE B – IMAGENS DE NDVI DO LANDSAT 8 PARA BELO HORIZONTE.

#### 5.4. Valoração dos Serviços Ecosistêmicos

Por considerar que os valores obtidos das áreas das AVUs a partir do Landsat 8 foram menores devido sua resolução de 30 metros, em comparação com a resolução de 10 metros do Sentinel 2, considerou-se nesse trabalho os valores obtidos das áreas das AVUs a partir do Sentinel 2, por apresentar uma maior resolução espacial em comparação ao Landsat 8. Tendo em vista essas considerações, na Tabela 5.6 é apresentada uma síntese das informações de área de AVUs e de valor dos serviços ecosistêmicos das AVUs obtidos com base nas imagens do satélite Sentinel 2.

**Tabela 5.6** – Valor dos Serviços Ecosistêmicos das Áreas Verdes Urbanos de Belo Horizonte

<b>Data das imagens</b>	<b>Área das AVUs (ha)</b>	<b>Valor dos Serviços Ecosistêmicos (US\$/ano)</b>	<b>Valor Final dos Serviços Ecosistêmicos (US\$/ano)</b>
01/07/2017	11.067,93	59.556.531,33	
21/07/2018	9.713,29	52.267.213,49	
11/07/2019	10.813,87	58.189.434,47	
30/07/2020	9.506,57	51.154.853,17	56.008.891,84
05/07/2021	8.591,61	46.231.475,47	
30/06/2022	10.408,64	56.008.891,84	

Fonte: De autoria própria (2023).

Os resultados apresentados na Tabela 5.6, indicam que a cidade de Belo Horizonte possui um retorno associado aos benefícios sociais obtidos pelos serviços ecosistêmicos providos pelas áreas verdes urbanas mensuradas em um valor de US\$56.008.891,84/ano. Este valor está associado diretamente a provisão de serviços ecosistêmicos diversos, com esses serviços podendo ser observados na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7** – Serviços Ecosistêmicos providos pelas áreas verdes urbanas de Belo Horizonte

<b>Serviços Ecosistêmicos</b>	<b>Valor total por área unitário (US\$/ha/ano)</b>	<b>Valor total por área unitário (US\$/ano)</b>	<b>Total (US\$/ano)</b>
<b>Serviços de provisão</b>			
Matérias Primas	84,00	874.325,76	
Oferta de Água	27,00	281.033,28	19.026.993,92
Produção de alimentos	200,00	2.081.728,00	

<b>Serviços Ecosistêmicos</b>	<b>Valor total por área unitário (US\$/ha/ano)</b>	<b>Valor total por área unitário (US\$/ano)</b>	<b>Total (US\$/ano)</b>
Recursos Genéticos	1.517,00	15.789.906,88	
<b>Serviços de Regulação</b>			
Controle biológico	11,00	114.495,04	
Controle de erosão	337,00	3.507.711,68	
Regulação climática	2.044,00	21.275.260,16	
Regulação de água	8,00	83.269,12	
Regulação de distúrbios	66,00	686.970,24	27.353.905,92
Regulação de gás	12,00	124.903,68	
Polinização	30,00	312.259,20	
Tratamento de resíduos	120,00	1.249.036,80	
<b>Serviços de suporte</b>			
Ciclagem de nutrientes	3,00	31.225,92	582.883,84
Formação do solo	14,00	145.720,96	
Habitat/Refúgio	39,00	405.936,96	
<b>Serviços Culturais</b>			
Cultural	2,00	20.817,28	9.045.108,16
Recreação	867,00	9.024.290,88	
<b>Total de Serviços Ecosistêmicos</b>	<b>5.381,00</b>	<b>56.008.891,84</b>	

Fonte: De autoria própria (2023).

Desta forma pode-se inferir que, em um cenário no qual as áreas verdes urbanas mensuradas deixassem de existir dentro do território de Belo Horizonte, o poder público do município necessitaria desembolsar um valor de cerca de US\$56.008.891,84 por ano para fornecer a estrutura necessária para a população ter acesso aos benefícios prestados pelas áreas verdes urbanas, que atualmente, são fornecidos de forma natural e de forma gratuita.

Considerando uma população de 2.530.701 habitantes, por meio da Equação 3.1, obtém-se um valor de Índice de Áreas Verdes para o município de Belo Horizonte de 41,12 m<sup>2</sup> por habitante. Este IAV para BH está acima do valor de 13m<sup>2</sup>/hab descritos por Oliveira (1996) e próximo do IAV ideal de 50m<sup>2</sup>/hab descrito por Chen; Men; Ke, (2023).

Considerando a área de Belo Horizonte, descrita por IBGE (2021) como sendo 33.135,4 ha, as AVUs com uma área de AVUs de 10.408,64 ha, ocupam cerca de 31,41% do território do município. Desta maneira pode-se inferir, de maneira empírica, uma eficiência ecossistêmica

de 31,41% de provisão de benesses oriundas dos serviços ecossistêmicos derivados das áreas verdes urbanas de Belo Horizonte.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas urbanas estão em transformação constante, e em muitos casos as áreas verdes são deixadas em segundo plano no contexto da expansão urbana. Tanto nas grandes cidades quanto nas pequenas cidades, a falta de acompanhamento pelo poder público dos processos de expansão desordenada, acabam levando as gestões a darem prioridade a aspectos com relevância mais imediata relacionados a infraestrutura de suporte as atividades humanas.

Essas priorizações, apesar de resolverem problemas a curto prazo, geralmente ocasionados pela expansão desordenada, não são planejadas considerando todo o contexto urbano e suas possíveis modificações a longo prazo, o que propicia novos problemas futuros que podem influenciar na qualidade de vida da população. Levando-se em consideração o planejamento, é possível aliar o crescimento urbano de forma sustentável, considerando tanto os aspectos de infraestrutura quanto os aspectos ambientais (JARDIM, UMBELINO, 2020).

É importante que o poder público forneça recursos e incentivos que favoreçam a preservação das áreas verdes existentes e a criação de novas áreas verdes, não só por meio de regulamentações, mas também por meio de subsídios diretos ou indiretos, que estimulem um surgimento espontâneo de iniciativas de preservação (LEE; WANG; CHANG, 2023).

Com base nos resultados apresentados neste trabalho, Belo Horizonte está apresentando uma variação sazonal nas AVUs, apresentando uma queda nas suas áreas verdes, conforme os dados dos anos entre 2017 a 2022 e, em consequência, uma queda na provisão dos serviços ecossistêmicos gerados por essas áreas verdes entre esses anos. A tendência, entretanto, não possui uma validação estatística, sendo uma tendência observada com base na variação dos valores de área detectados nas imagens de satélite pela técnica de NDVI.

O satélite Sentinel 2 foi capaz de detectar uma quantidade de áreas verdes maior que o satélite Landsat 8, conforme a detecção de áreas verdes para cada ano. Esse fato pode estar relacionado as resoluções das bandas do vermelho e do infravermelho próximo de cada satélite, já que para o Sentinel 2 essas bandas possuem resolução de 10 metros e para o Landsat 8 as imagens possuem resolução de 30 metros.

É importante considerar que o intervalo de tempo entre os anos de 2017 a 2022, pode não ser o suficiente para inferir uma tendência o longo prazo de perda de serviços ecossistêmicos, considerando que não foi possível determinar os valores das áreas verdes, com o Sentinel 2, de anos anteriores a 2017, sendo importante a continuidade da avaliação desta tendência ao longo dos próximos anos.

As áreas verdes dentro de um ambiente urbano, podem estar sobre influência de diversos fatores ambientais de impacto, tanto fatores naturais quanto antrópicos, com cada área verde sofrendo influências distintas dos diversos atores inseridos no ambiente urbano. Estudos de áreas verdes em áreas urbanas extensas podem encontrar dificuldades em identificar impactos que influenciam mutuamente e simultaneamente todas as áreas verdes.

Desta forma, estudos que consideram a análise de áreas verdes específicas em áreas menores e com potenciais impactos bem estabelecidos, podem ser mais objetivos em identificar os impactos que podem ser considerados mais intensos dentro do contexto ao qual a área verde em estudo está inserida.

## 7. RECOMENDAÇÕES

A seguir, são apresentadas algumas recomendações para os próximos trabalhos que visam adotar uma linha de pesquisa semelhante.

- Recomenda-se para os próximos trabalhos, a adoção de parâmetros estatísticos para avaliar se é possível verificar uma tendência na variação das condições da vegetação, seja para Belo Horizonte ou para outras áreas de estudo, com intuito de se poder prever possíveis cenários futuros quanto as condições das vegetações;
- Tendo em vista o contexto de Belo Horizonte, cidade que se encontra urbanizada a bastante tempo, recomenda-se adoção da metodologia utilizada neste trabalho para outros municípios que convivem com um aumento da taxa de urbanização e uma perda constante de espaços antes ocupados por vegetação;
- Recomenda-se o uso de imagens de satélite de alta resolução, como as imagens do Sentinel 2, de 10 metros de resolução, para detecção de AVUs urbanos. Imagens de satélite como as do Landsat 8, detectaram uma menor quantidade de áreas verdes no ambiente urbano, se comparada com as imagens do Sentinel 2. Entretanto, para áreas verdes fora da área urbana, o uso de imagens do Landsat 8 não deve ser descartado como opção de satélite para a obtenção de dados de sensoriamento remoto;
- Recomenda-se, para próximos trabalhos, a comparação entre os quantitativos de AVUs com os quantitativos de áreas verdes em áreas de preservação, como unidades de conservação, urbanas ou não urbanas, de forma a comparar a perda ou ganho de serviços ecossistêmicos em uma área preservada em comparação com uma área urbanizada ou avaliar as pressões antrópicas em áreas de preservação;
- Recomenda-se, a adoção de outros parâmetros de sensoriamento remoto como EVI (Enhanced Vegetation Index), NDBI (Normalized Difference Built-Up Index), NDWI (Normalized Difference Water Index) e o SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), além do NDVI, para mensuração de áreas verdes, tendo em vista uma abordagem que possa trazer uma maior precisão aos resultados obtidos na mensuração das áreas verdes;
- Recomenda-se um estudo das áreas verdes de BH de forma a avaliar os impactos que essas áreas podem sofrer, tendo em vista os impactos ambientais aos quais elas estão expostas e as ações de planejamento urbano tanto no contexto de Belo Horizonte quanto no contexto da

região metropolitana de Belo Horizonte, considerando que os municípios da região metropolitana podem afetar as condições das suas vegetações de forma mútua.

## 8. REFERÊNCIAS

- AAMODT, Geir; NORDH, Helena; NORDBØ, Emma C.A. Relationships between socio-demographic / socio-economic characteristics and neighborhood green space in four Nordic municipalities – results from NORDGREEN. **Urban Forestry & Urban Greening**, p. 127894, mar. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127894>.
- AHMED, Zobaer; SHEW, Aaron; NALLEY, Lawton; POPP, Michael; GREEN, V. Steven. An examination of thematic research, development, and trends in remote sensing applied to conservation agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, 1 abr. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.04.001>.
- ANDRADE, Daniel Caixeta; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. Texto para discussão, Campinas, n. 155, 06 fev. 2010. Disponível em: <http://www.avesmarinhas.com.br/Servi%C3%A7os%20ecossist%C3%AAmicos%20e%20sua%20import%C3%A2ncia%20econ%C3%B4mica.pdf>. Acesso em: 06 out. 2022.
- BELO HORIZONTE. Decreto nº 17786, de 29 de novembro de 2021. Dispõe sobre a adoção de espaços públicos e áreas verdes – Programa Adoro BH – e dá outras providências. **DECRETO Nº 17.786 DE 29 DE NOVEMBRO DE 2021**, Belo Horizonte, 30 nov. 2021. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/decreto/17786/2021#:~:text=Altera%20o%20Decreto%20n%C2%BA%2017.786,8%C2%BA>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- BELO HORIZONTE. Lei nº 10231, de 19 de julho de 2011. Dispõe sobre a circunscrição das Regiões Administrativas do Município. **Lei nº 10.231, de 19 de julho de 2011**, Belo Horizonte, 20 jul. 2011. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/10231/2011>. Acesso em: 4 jun. 2023.
- BHGEO (Belo Horizonte). **BH Map**. 2023?. Disponível em: <https://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- BHGEO (Belo Horizonte). **O que é o Portal BHGEO**. 6 jan. 2022. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/bhgeo/institucional>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- BOCKSTAEL, N; COSTANZA, R; STRAND, I; BOYNTON, W; BELL, K; WAINGER, L. Ecological economic modeling and valuation of ecosystems. **Ecological Economics**, v. 14, n. 2, p. 143-159, agosto 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00026-6](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00026-6).
- BOUMANS, Roelof; COSTANZA, Robert; FARLEY, Joshua; WILSON, Matthew A; PORTELA, Rosimeiry; ROTMANS, Jan; VILLA, Rotmans; GRASSO, Monica. Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 529-560, junho 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00098-8).
- BOUMANS, Roelof; ROMAN, Joe; ALTMAN, Irit; KAUFMAN, Les. The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): Simulating the interactions of coupled

human and natural systems. **Ecosystem Services**, v. 12, p. 30-41, abril 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.01.004>.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2002. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**, Brasília, 19 jul. 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm). Acesso em: 20 fev. 2022.

CAVALHEIRO, Felisberto; DEL PICCHIA, Paulo Celso Dornelles. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. **1º Congresso Brasileiro Sobre Arborização Urbana e 4º Encontro Nacional Sobre Arborização Urbana**, p. 29-38, 1992. Publicado nos Anais do 1º Congresso Brasileiro Sobre Arborização Urbana e 4º Encontro Nacional Sobre Arborização Urbana. 13 a 18 de setembro – 1992 – Hotel Porto do Sol – Vitória – ES.

CCAMI-BERNAL, Fabricio; SORIANO-MORENO, David R.; FERNANDEZ-GUZMAN, Daniel; TUCO, Kimberly G.; CASTRO-DÍAZ, Sharong D.; ESPARZA-VARAS, Analis L.; MEDINA-RAMIREZ, Sebastian A.; CAIRA-CHUQUINEYRA, Brenda; CORTEZ-SOTO, Andrea G.; YOVERA-ALDANA, Marlon; ROJAS-RUEDA, David. Green space exposure and type 2 diabetes mellitus incidence: A systematic review. **Health and Place**, v. 82, p. 103045, jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2023.103045>.

CHEN, Guangsheng; LU, Hailiang; ZOU, Weitao; LI, Linhui; EMAM, Mahmoud; CHEN, Xuebin; JING, Weipeng; WANG, Jian; LI, Chao. Spatiotemporal fusion for spectral remote sensing: A statistical analysis and review. **Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences**, v. 35, n. 3, p. 259-273, 1 mar. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.02.021>.

CHEN, Yuanyuan; MEN, Hongling; KE, Xinli. Optimizing urban green space patterns to improve spatial equity using location-allocation model: A case study in Wuhan. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 84, p. 127922, 1 abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127922>.

CORDEIRO, Ana Paula Assumpção; BERLATO, Moacir Antônio; FONTANA, Denise Cybis; MELO, Ricardo Wanke de; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; FIOR, Claudimar Sidnei. Regiões Homogêneas de Vegetação Utilizando a Variabilidade de NDVI. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 883-896, 31 ago. 2017. DOI <https://doi.org/10.5902/1980509828638>.

COSTANZA, Robert; DE GROOT, Rudolf; SUTTON, Paul; PLOEG, Sander van der; ANDERSON, Sharolyn J; KUBISZEWSKI, Ida; FARBER, Stephen; TURNER, R. Kerry. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, n. 26, p. 152-158, Maio 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>.

COSTANZA, Robert. Social Goals and the Valuation of Ecosystem Services. **Ecosystems**, v. 3, n. 1, p. 4–10, 1 Jan. 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s100210000002>.

DALY, Herman E.; FARLEY, Joshua. **Ecological Economics: Principles and Applications**. Washington: Island Press, 2004. ISBN 1-55963-312-3.

DE GROOT, Rudolf S.; WILSON, Matthew A.; BOUMANS, Roelof M.J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393–408, jun. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7).

DONG, Yi; YIN, Dongqin; LI, Xiang; HUANG, Jianxi; SU, Wei; LI, Xuecao; WANG, Hongshuo. Spatial–Temporal Evolution of Vegetation NDVI in Association with Climatic, Environmental and Anthropogenic Factors in the Loess Plateau, China during 2000–2015: Quantitative Analysis Based on Geographical Detector Model. **Remote Sensing**, v. 13, n. 21, p. 4380, 30 out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13214380>.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SENTINEL. 2023?. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: 24 maio 2023.

ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. **Satellite Description**. 2023?a. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description>. Acesso em: 24 maio 2023.

ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel Overview**. 2023?b. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>. Acesso em: 24 maio 2023.

FARKAS, Jenő Zsolt; HOYK, Edit; MORAIS, Mariana Batista de; CSOMÓS, György. A systematic review of urban green space research over the last 30 years: A bibliometric analysis. **Heliyon**, v. 9, n. 2, p. e13406, 1 fev. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13406>.

FEITOSA, Vítor Soares. **Proposição de Estações Virtuais de Clorofila-a para a Lagoa da Pampulha com apoio de dados in situ e sensoriamento remoto**. Orientador: Profa. Dra. Eliane Maria Vieira. 2022. 140 p. Dissertação (Mestrado, Pós Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) - Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2022.

FENG, Lei; YOU, Yu; LIAO, Weiling; PANG, Jiawei; HU, Ronghao; FENG, Li. Multi-scale change monitoring of water environment using cloud computing in optimal resolution remote sensing images. **Energy Reports**, v. 8, p. 13610–13620, 1 nov. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.134>.

FERNANDES, Antoniel Silva; CALDEIRA, Altino Barbosa. Análise Espacial das Áreas Verdes de Belo Horizonte (MG). **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 11, n. 3, p. 73, 21 set. 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v11i3.63418>.

FERRAZ, Rodrigo Peçanha Demonte; PRADO, Rachel Bardy; PARRON, Lucília Maria; CAMPANHA, Mônica Matoso. **Marco Referencial em Serviços Ecossistêmicos**. 1. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2019. 160 p. v. 25. ISBN 978-85-7035-909-4.

GOMES, Aldair dos Santos; NETO, José Dantas; SILVA, Viviane Farias. Serviços Eossistêmicos: Conceitos e Classificação. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 12–23, 23 maio 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0002>.

GONZALES-INCA, Carlos; PENTTI, Jaana; STENHOLM, Sari; SUOMINEN, Sakari; VAHTERA, Jussi; KAYHK, Niina. Residential greenness and risks of depression: Longitudinal associations with different greenness indicators and spatial scales in a Finnish population cohort. **Health and Place**, v. 74, p. 102760, mar. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2022.102760>.

HARDER, Isabel Cristina Fialho; RIBEIRO, Roberval de Cássia Salvador; TAVARES, Armando Reis. Índices de área verde e cobertura vegetal para as praças do Município de Vinhedo, SP. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 277-282, 1 abr. 2006. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200015>.

HUETING, Roefie; REIJNDERS, Lucas; BOER, Bart de; LAMBOOY, Jan; JANSEN, Huib. The concept of environmental function and its valuation. **Ecological Economics**, v. 25, n. 1, p. 253-260, 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html>. Acesso em: 14 nov. 2022.

IDE-SISEMA - INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais). **Webgis**. 2023?. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 24 maio 2023.

JARDIM, Jamila Paula; UMBELINO, Glauco. Mapeamento de áreas verdes e da arborização urbana: estudo de caso de Diamantina, Minas Gerais. **Revista Espinhaço**, ano 2, ed.17, p. 28-39, 9 dez. 2020. DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.4432819>.

KEFALE, Alemaw; FETENE, Aramde; DESTA, Hayal. Users' preferences and perceptions towards urban green spaces in rapidly urbanized cities: The case of Debre Berhan and Debre Markos, Ethiopia. **Heliyon**, v. 9, n. 4, p. e15262, 5 abr. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15262>.

LEE, Chien-Chiang; WANG, Fuhao; CHANG, Yu-Fang. Towards net-zero emissions: Can green bond policy promote green innovation and green space. **Energy Economics**, v. 121, p. 106675, 1 maio 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106675>.

LI, Fei; YIGITCANLAR, Tan; NEPAL, Madhav; NGUYEN, Kienopp; DUR, Fatih. Machine Learning and Remote Sensing Integration for Leveraging Urban Sustainability: A Review and Framework. **Sustainable Cities and Society**, p. 104653–104653, 1 maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104653>.

LI, Shuang; XU, Liang; JING, Yinghong; YIN, Hang; LI, Xinghua; GUAN, Xiaobin. High-quality vegetation index product generation: A review of NDVI time series reconstruction

techniques. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 105, p. 102640, 25 dez. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102640>.

LIN, Min; HOU, Lizhu; QI, Zhiming; WAN, Li. Impacts of climate change and human activities on vegetation NDVI in China's Mu Us Sandy Land during 2000–2019. **Ecological Indicators**, v. 142, p. 109164, setembro 2022. DOI: <https://doi-org.ez107.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ecolind.2022.109164>.

LIU, Xiao-Xuan; MA, Xin-Li; HUANG, When-Zhong; LUO, Ya-Na; HE, Chuan-Jiang; ZHONG, Xue-Mei; DADVAND, Payam; BROWNING, Matthew H.E.M.; LI, Li; ZOU, Xiao-Guang; DONG, Guang-Hui; YANG, Bo-Yi. Green space and cardiovascular disease: A systematic review with meta-analysis. **Environmental Pollution**, v. 301, p. 118990, 15 maio 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118990>.

LOBODA, Carlos Roberto; ANGELIS, Bruno Luiz Domingues de. Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. **Ambiência**, Guarapuava, ano 1, v. 1, p. 125-139, jun. 2005. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/157>. Acesso em: 14 jun. 2023.

LUO, Sitong; PATUANO, Agnès. Multiple ecosystem services of informal green spaces: A literature review. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 81, p. 127849, 2 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127849>.

MAGALHÃES, Ana. Belo Horizonte tem mais de 350 praças e espaços públicos adotados: Locais são adotados por pessoas físicas e jurídicas, por meio do projeto Adoro BH; entre as regiões com mais espaços adotados estão Pampulha, Oeste e Centro-Sul. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 19 set. 2022. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2022/09/19/interna\\_gerais,1395448/belo-horizonte-tem-mais-de-350-pracas-e-espacos-publicos-adotados.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2022/09/19/interna_gerais,1395448/belo-horizonte-tem-mais-de-350-pracas-e-espacos-publicos-adotados.shtml). Acesso em: 27 nov. 2022.

MAIA, Alexandre Gori; ROMEIRO, Ademar Ribeiro; REYDON, Bastiaan Philip. Valoração de recursos ambientais: metodologias e recomendações. **Texto para discussão**, Campinas, n. 116, 20 jul. 2010. Disponível em: <https://www3.eco.unicamp.br/texto-para-discussao/valoracao-de-recursos-ambientais-metodologias-e-recomendacoes>. Acesso em: 12 jun. 2022.

MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEMS ASSESSMENT, 2003. **Ecosystems and human well-being: a Framework for Assessment**. Washington, D.C.; London: Island Press, 2003. ISBN 1-59726-040-1.

NAZOMBE, Kennedy; NAMBAZO, Odala. Monitoring and assessment of urban green space loss and fragmentation using remote sensing data in the four cities of Malawi from 1986 to 2021. **Scientific African**, v. 20, p. e01639, 1 mar. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01639>.

OLIVEIRA, Carlos Henke de. **Planejamento Ambiental na Cidade de São Carlos (SP) com Ênfase nas Áreas Públicas e nas Áreas Verdes**: Diagnóstico e Propostas. Orientador: José Eduardo dos Santos. 1996. 181 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade

Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 1996. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1950/mestrado-carlos-henke-oliveira.pdf?sequence>. Acesso em: 13 jun. 2023.

PANG, Bo; ZHAO, Jingyuan; ZHANG, Jianxin; YANG, Li. Calculating optimal scale of urban green space in Xi'an, China. **Ecological Indicators**, v. 147, p. 110003, 1 mar. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110003>.

PAUDEL, Shishir; STATES, Sarah L. Urban green spaces and sustainability: Exploring the ecosystem services and disservices of grassy lawns versus floral meadows. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 84, p. 127932, 1 abr. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127932>.

PEÑA-SALMÓN, C.; LEYVA-CAMACHO, O.; ROJAS-CALDELAS, R.; ALONSO-NAVARRETE, A.; ÑIGUEZ-AYÓN, P. The Identification And Classification Of Green Areas For Urban Planning Using Multispectral Images At Baja California, Mexico. *The Sustainable City IX*, v. 191, p. 611 - 621, 23 set. 2014. DOI: 10.2495/SC140511.

RHIF, Manel; ABBES, Ali Ben; MARTINEZ, Beatriz; JONG, Roger de; SANG, Yanfang; FARAH, Imed Riadh. Detection of trend and seasonal changes in non-stationary remote sensing data: Case study of Tunisia vegetation dynamics. **Ecological Informatics**, v. 69, p. 101596, 1 jul. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101596>.

ROCHA, Elisa; ABJAUD, Tiago. A metropolização de Belo Horizonte e sua relação com as áreas verdes e o turismo: Parque das Mangabeiras x Praça Sete. **Revista Acadêmica Observatório de Inovação do Turismo**, v. 7, n. 3, 27 mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.12660/oit.v7n3.7874>.

RUBIRA, Felipe Gomes. Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espços livres e degradação ambiental/impacto ambiental. *Caderno de Geografia*, ano 45, v. 26, p. 134, 2 jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2016v26n45p134>.

SENADO FEDERAL (Brasil). Governo federal revoga decretos de enfrentamento à pandemia. **Agência Senado**, Brasília-DF, p. 1, 23 maio 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/05/23/governo-federal-revoga-decretos-de-enfrentamento-a-pandemia#:~:text=O%20presidente%20Jair%20Bolsonaro%20revogou,da%20Pandemia%20da%20covid%2D19>. Acesso em: 24 maio 2023.

SENTINEL HUB. **EO Browser**. 2023?. Disponível em: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>. Acesso em: 24 maio 2023.

SONG, Ge; HUANG, Jin-ting; NING, Bo-han; WANG, Jia-wei; ZENG, Lei. Effects of groundwater level on vegetation in the arid area of western China. **China Geology**, v. 4, n. 3, p. 1-9, 2021. DOI 10.31035/cg2021062.

SUN, Yan; XIE, Shuai; ZHAO, Shuqing. Valuing urban green spaces in mitigating climate change: A city-wide estimate of aboveground carbon stored in urban green spaces of China's

Capital. **Global Change Biology**, v. 25, n. 5, p. 1717–1732, 24 jan. 2019. DOI <https://doi-org.ez107.periodicos.capes.gov.br/10.1111/gcb.14566>.

TAYLOR, Lucy; HOCHULI, Dieter F. Defining greenspace: Multiple uses across multiple disciplines. **Landscape and Urban Planning**, v. 158, p. 25-38, fev. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.024>.

TEEB - THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY (2012). **The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB**. 2012. 51 p.

TOLEDO, Fabiane dos Santos; MAZZEI, Kátia; SANTOS, Douglas Gomes dos. Um Índice de Áreas Verdes (IAV) na Cidade de Uberlândia / MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba-SP, v. 4, n. 3, p. 86-97, 29 set. 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v4i3.66415>.

WHETTON, Rebecca; ZHAO, Yifan; SHADDAD, Sameh; MOUAZEN, HangAbdul M. Nonlinear parametric modelling to study how soil properties affect crop yields and NDVI. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 138, p. 127-136, 1 jun. 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.016>.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Urban green spaces and health: A Review of Evidence**. Copenhagen, Denmark, 2016.

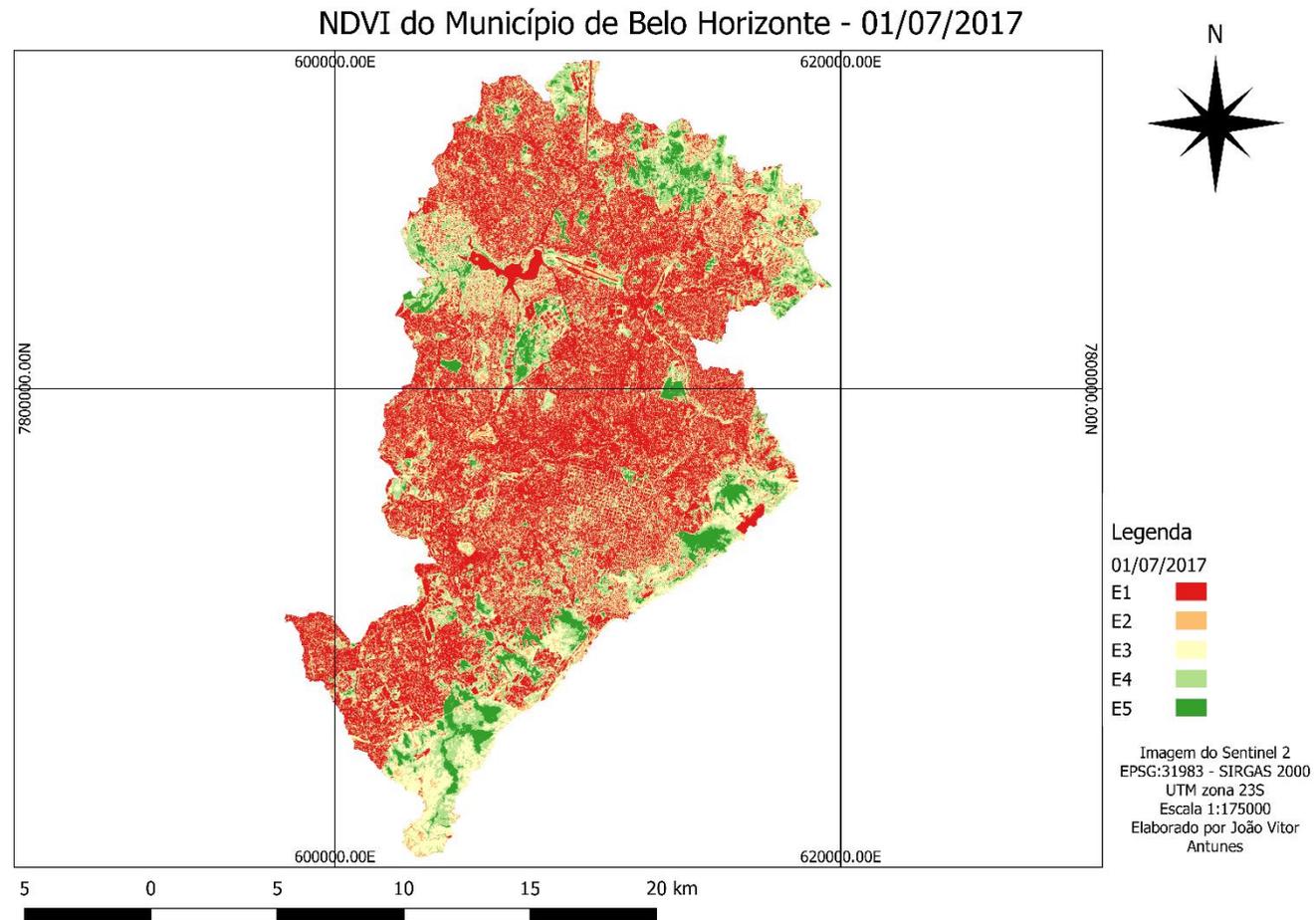
YU, Zhaowu; YANG, Gaoyuan; ZUO, Shudi; JØRGENSEN, Gertrud; KOGA, Motoya; VEJRE, Henrik. Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A thresholdsize perspective. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 49, p. 126630, mar. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126630>.

ZENG, Haicong; WANG, Jianan; GUAN, Mingzhu; LU, Yihao; LIU, Hui; ZHAO, Dexian. Effects of vegetation structure and environmental characteristics on pollinator diversity in urban green spaces. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 84, p. 127928, 1 jun. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127928>.

ZHAO, Yu; BAO, Wen-Wen; YANG, Bo-Yi; LIANG, Jing-Hong; GUI, Zhao-Huan; HUANG, Shan; CHEN, Yi-Can; DONG, Guang-Hui; CHEN, Ya-Jun. Association between greenspace and blood pressure: A systematic review and meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 817, p. 152513, abr. 2022. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152513>.

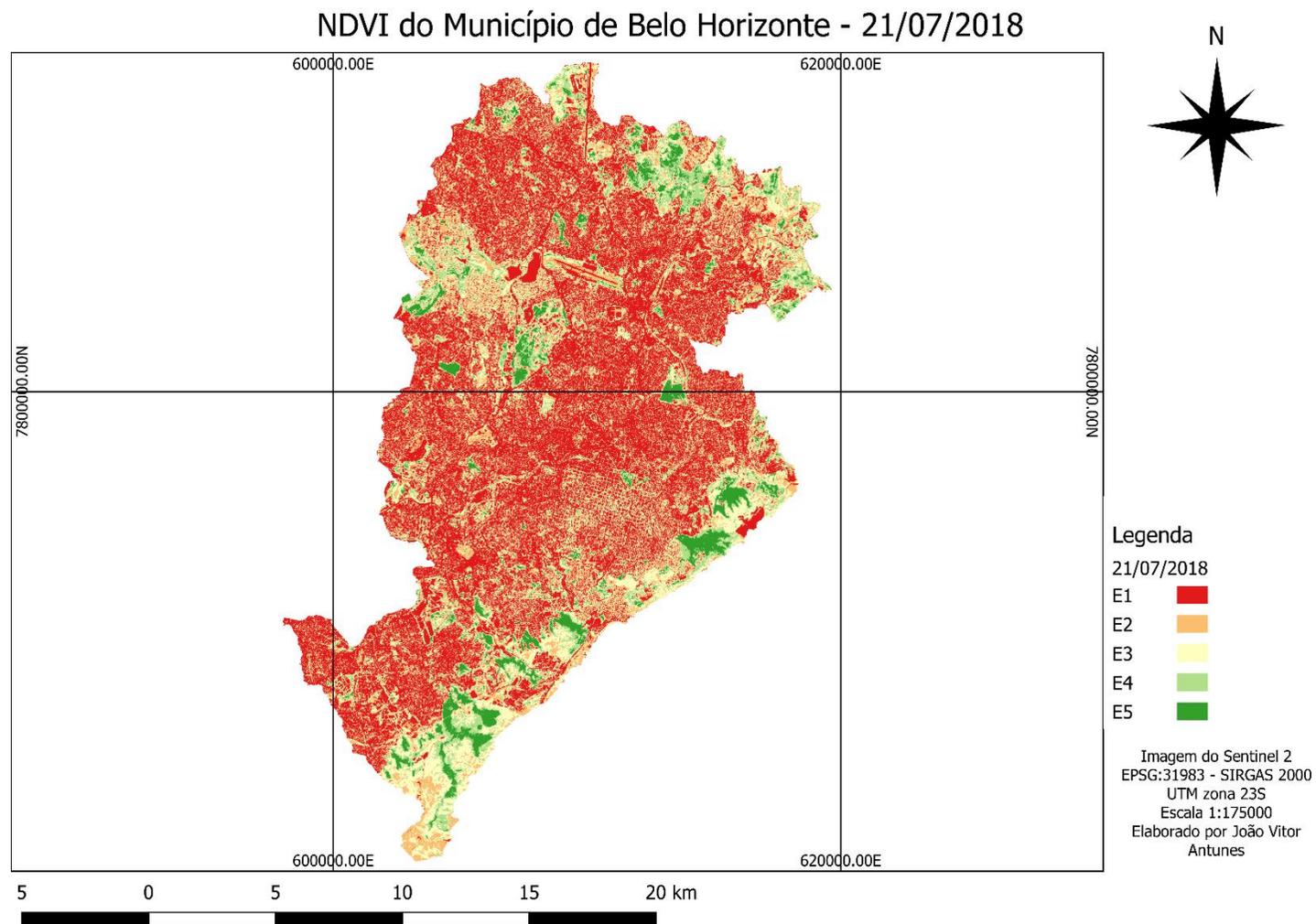
## 9. APÊNDICE A – IMAGENS DE NDVI DO SENTINEL 2 PARA BELO HORIZONTE

**Figura 9.1** – NDVI de Belo Horizonte da data 01/07/2017 do satélite Sentinel 2



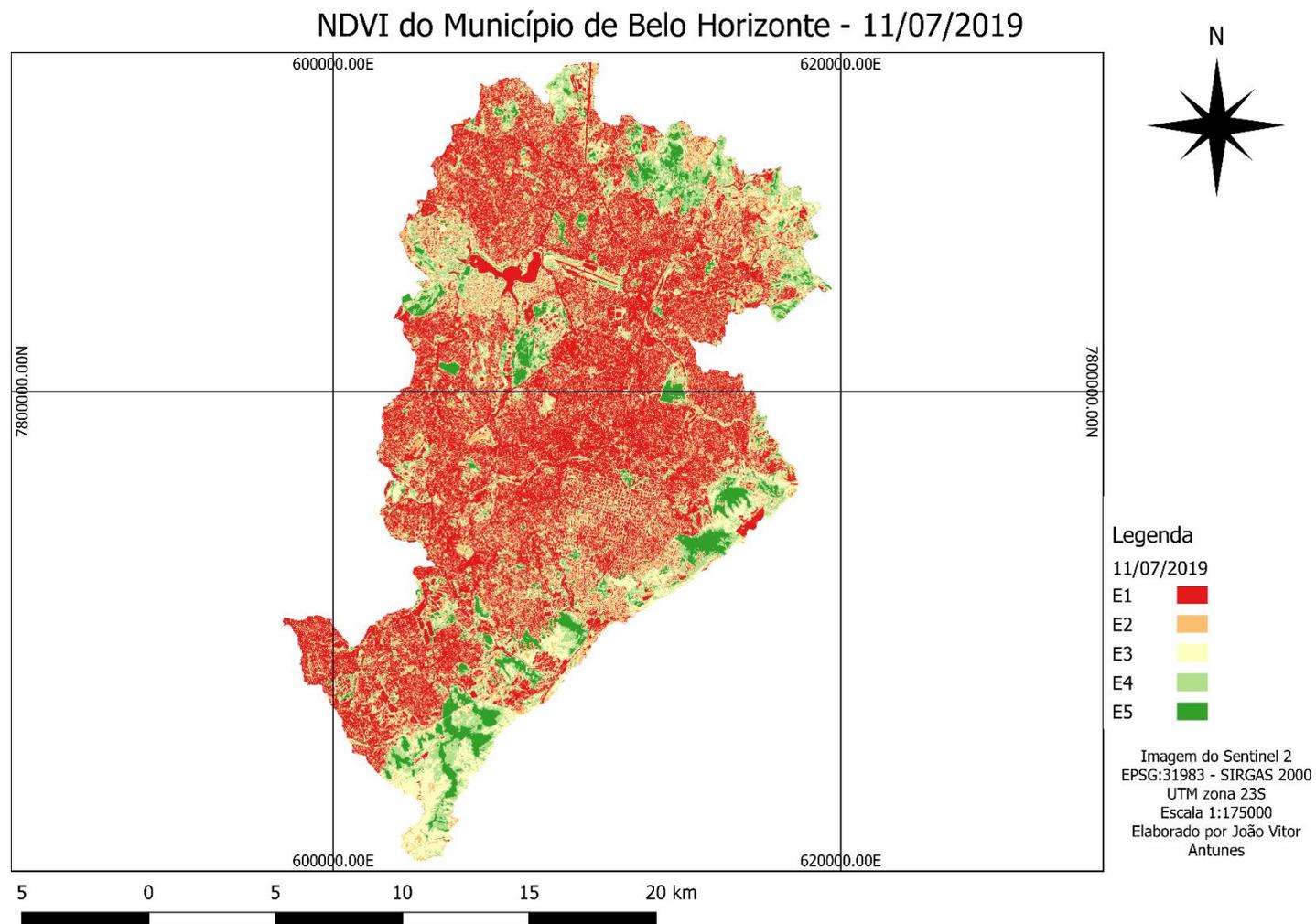
Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 9.2** - NDVI de Belo Horizonte da data 21/07/2018 do satélite Sentinel 2



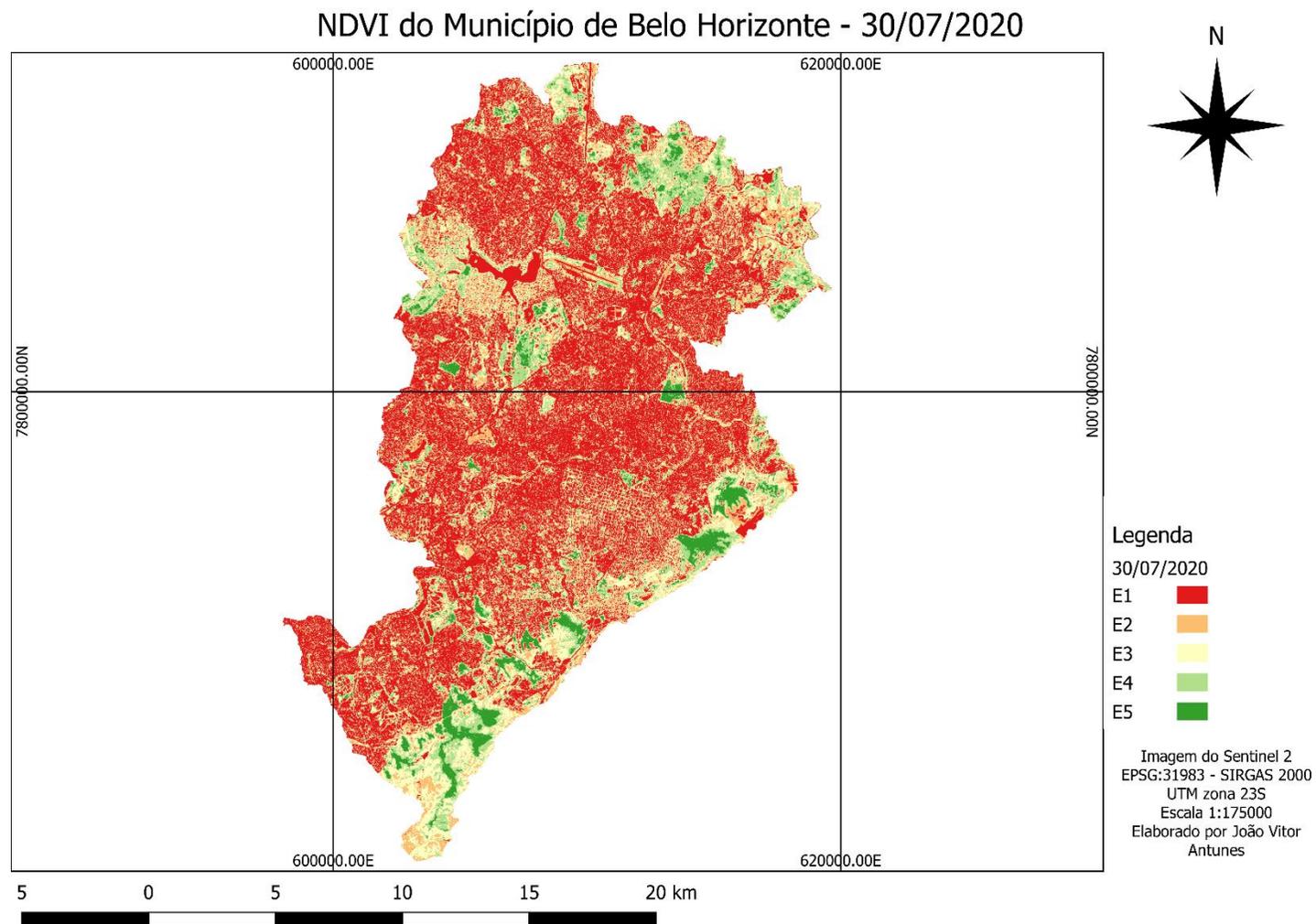
Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 9.3** – NDVI de Belo Horizonte da data 11/07/2019 do satélite Sentinel 2



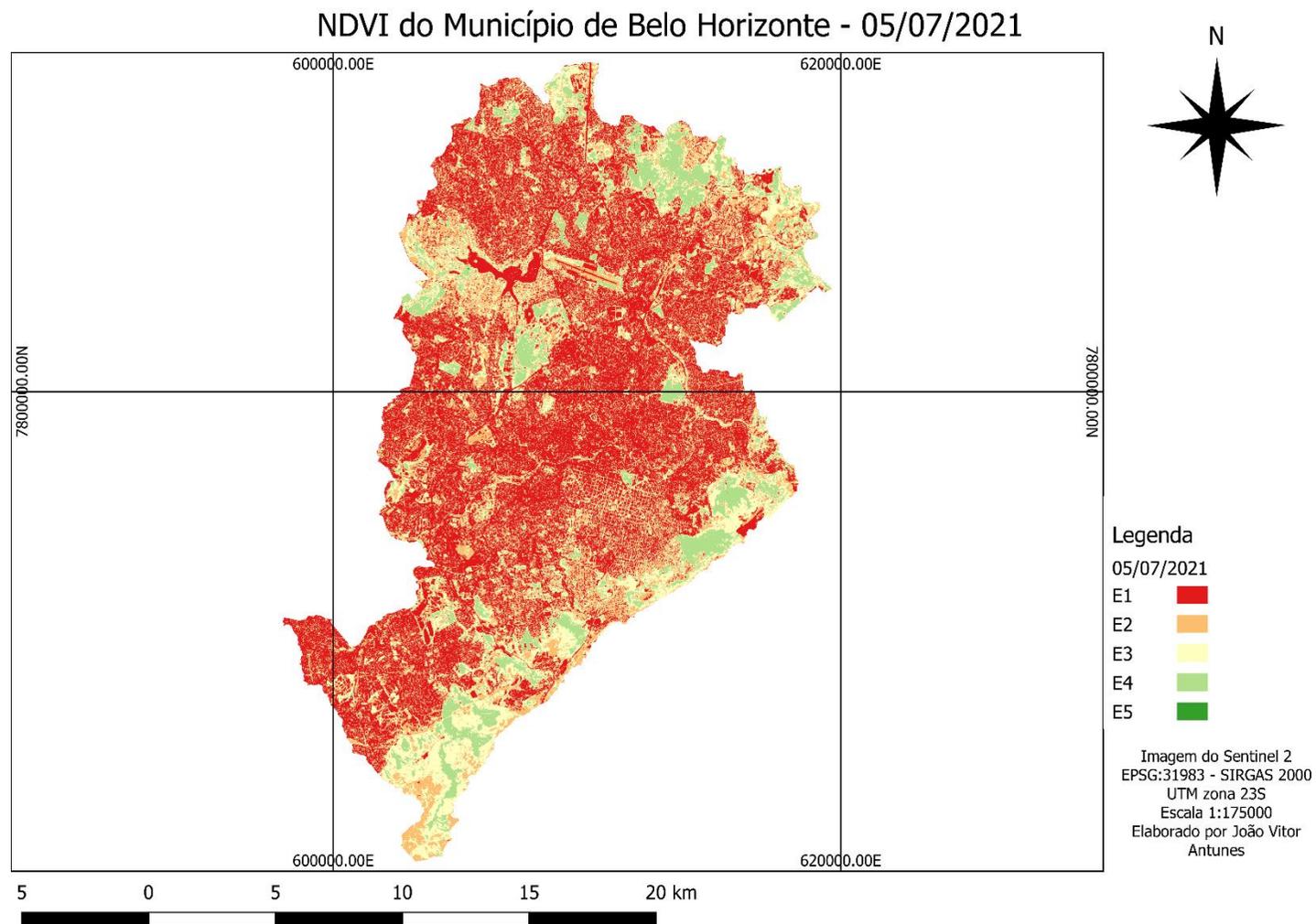
Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 9.4** – NDVI de Belo Horizonte da data 30/07/2020 do satélite Sentinel 2



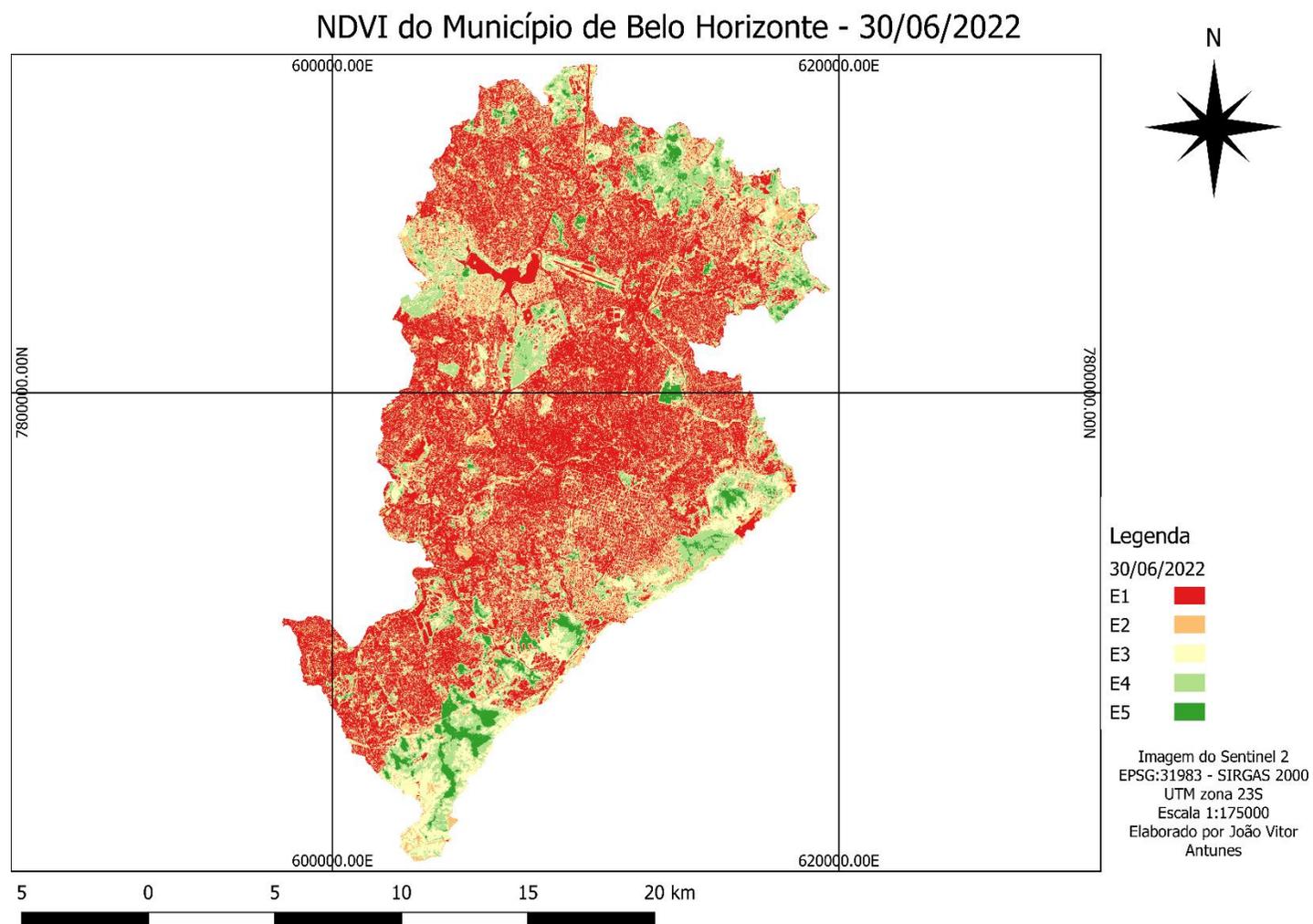
Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 9.5** – NDVI de Belo Horizonte da data 05/07/2021 do satélite Sentinel 2



Fonte: De autoria própria (2023).

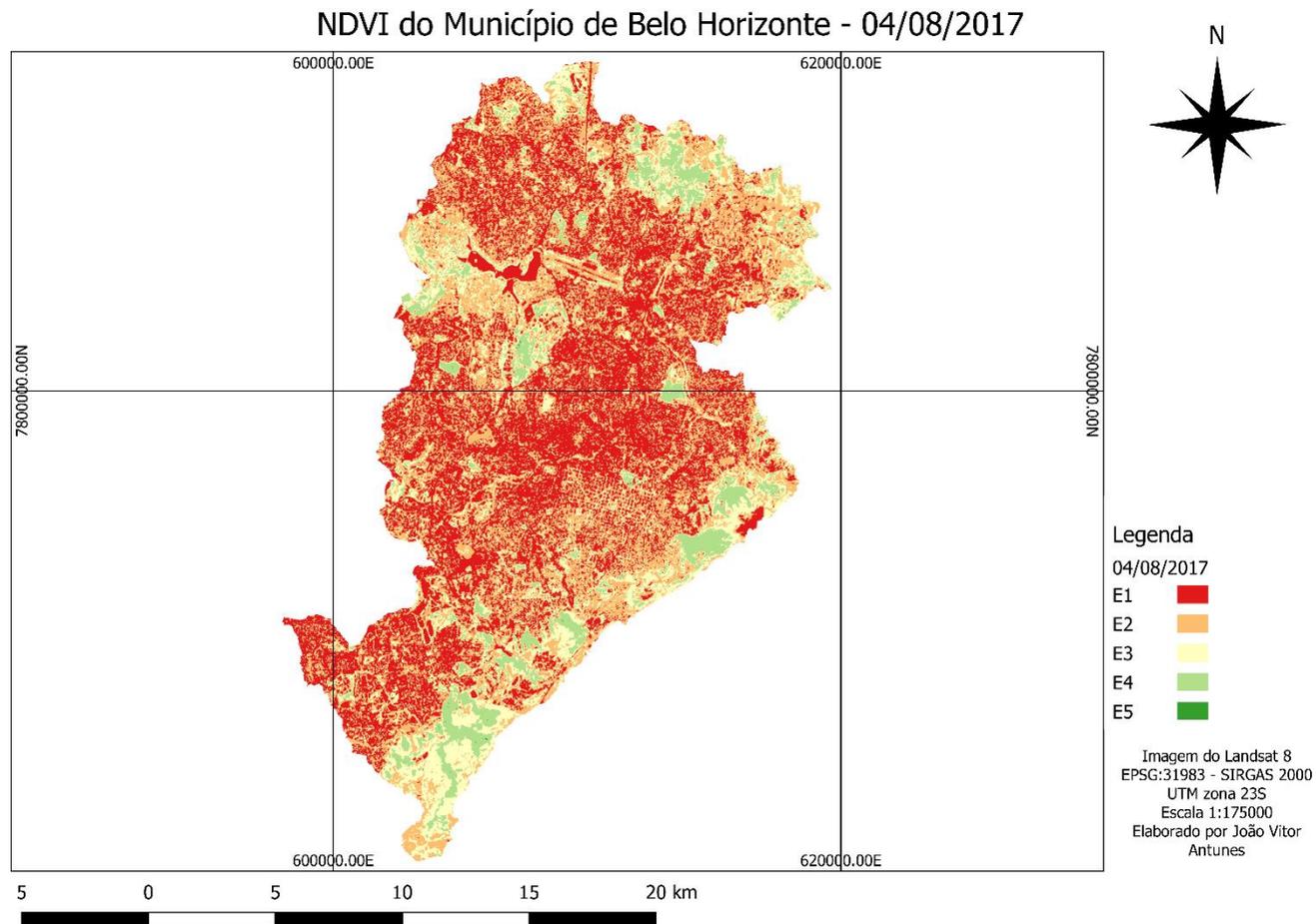
**Figura 9.6** – NDVI de Belo Horizonte da data 30/06/2022 do satélite Sentinel 2



Fonte: De autoria própria (2023).

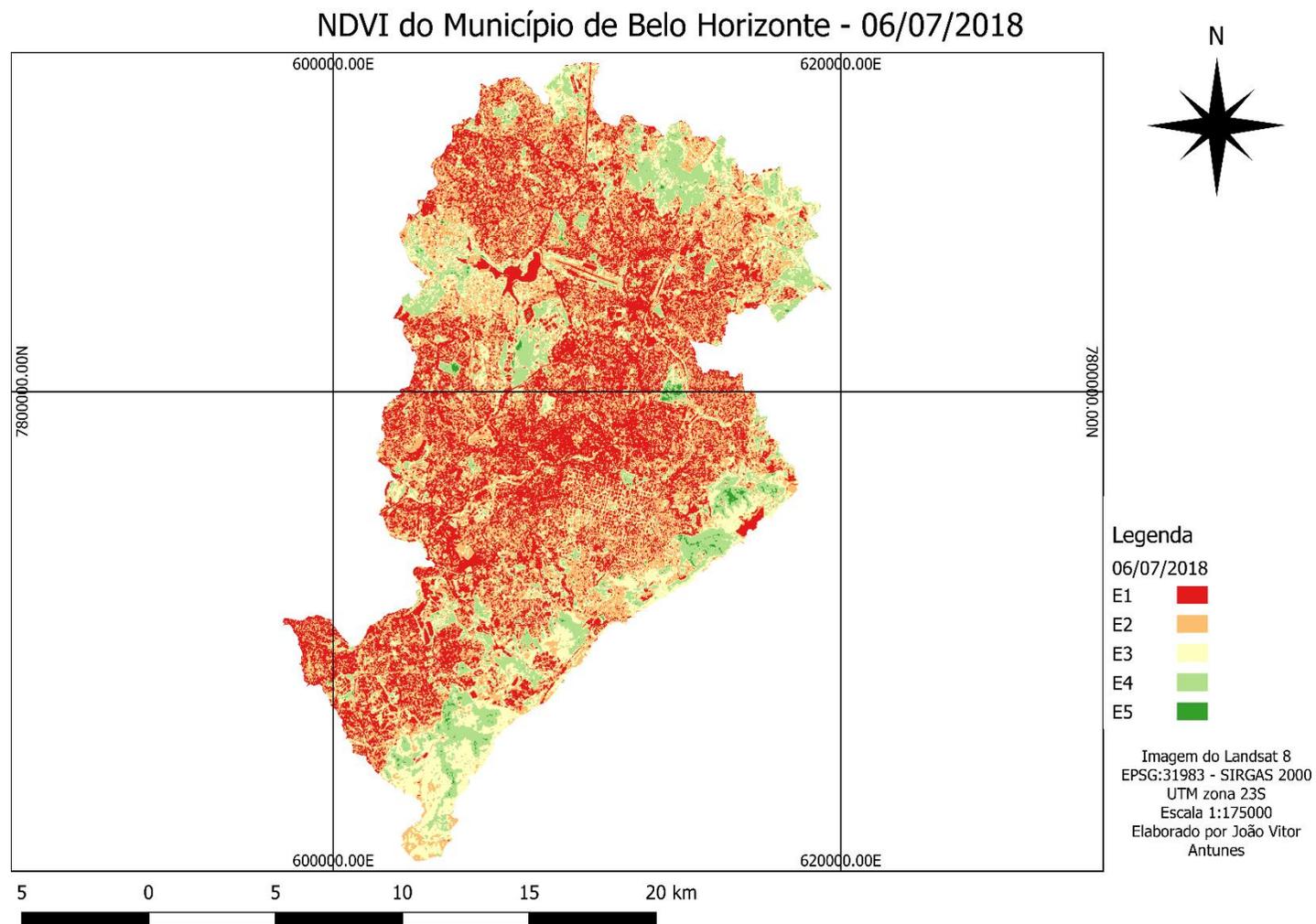
## 10. APÊNDICE B – IMAGENS DE NDVI DO LANDSAT 8 PARA BELO HORIZONTE

**Figura 10.1** – NDVI de Belo Horizonte da data 04/08/2017 do satélite Landsat 8



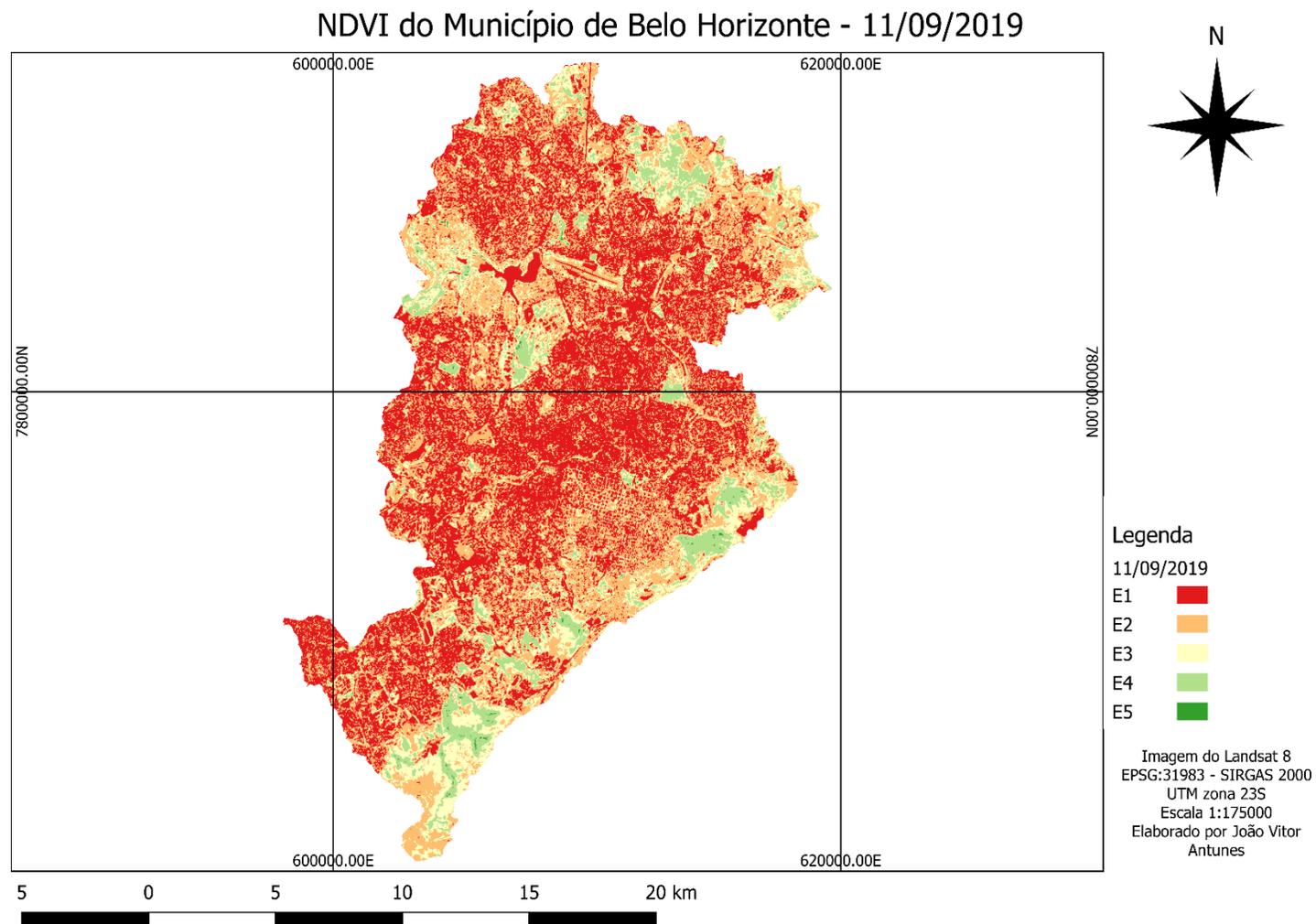
Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 10.2** – NDVI de Belo Horizonte da data 06/07/2018 do satélite Landsat 8



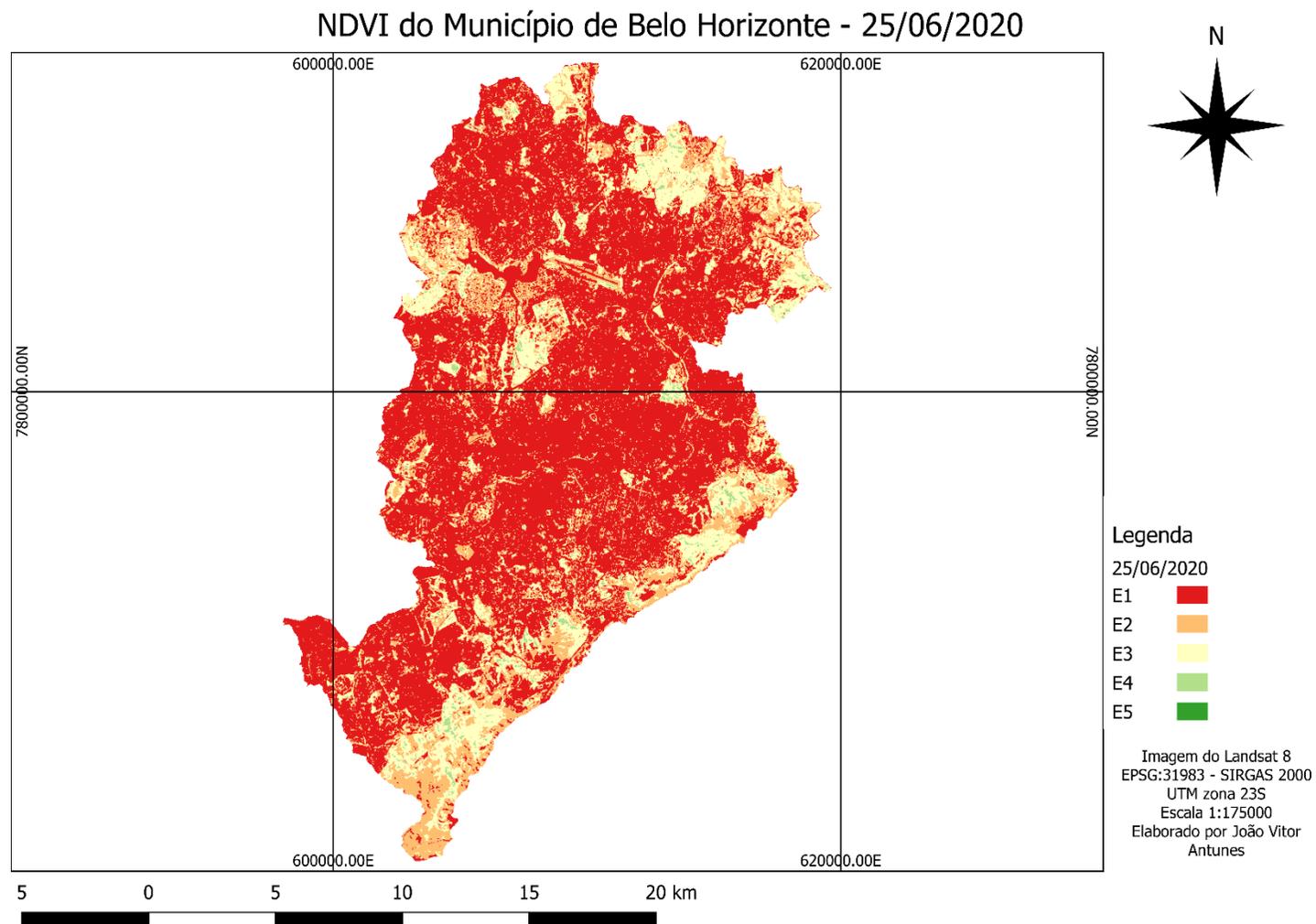
Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 10.3** – NDVI de Belo Horizonte da data 11/09/2019 do satélite Landsat 8

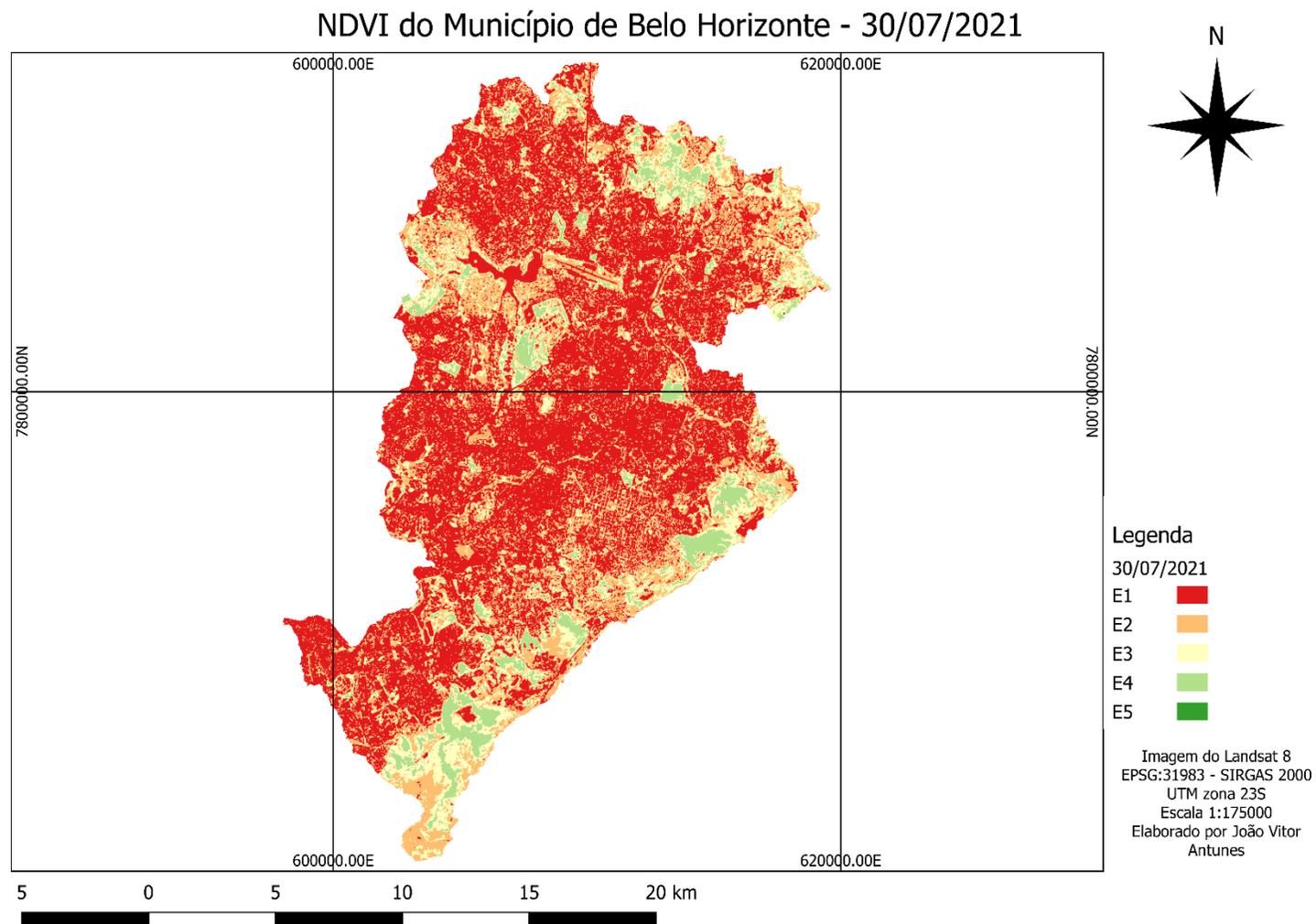


Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 10.4** – NDVI de Belo Horizonte da data 25/06/2020 do satélite Landsat 8

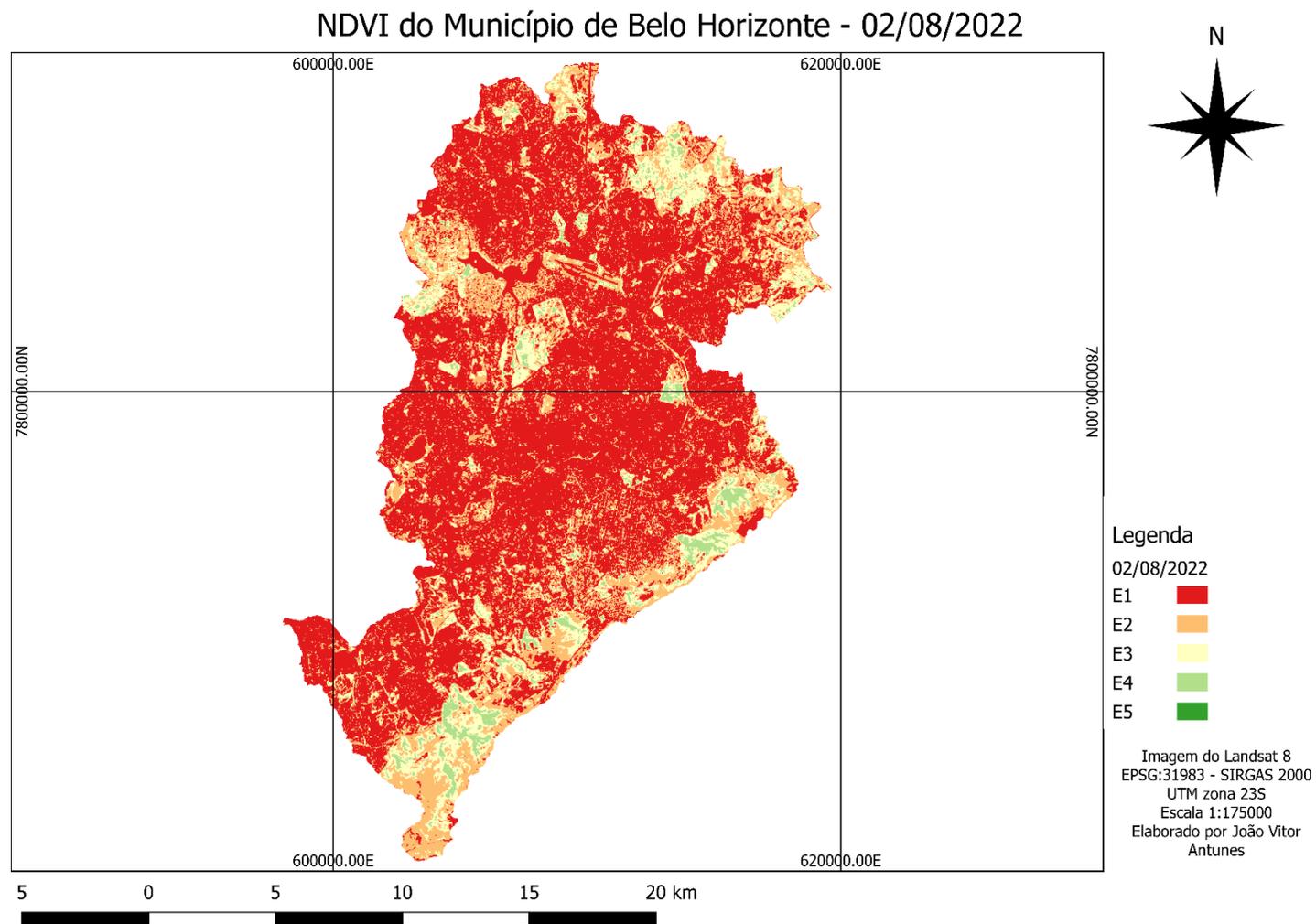


**Figura 10.5** – NDVI de Belo Horizonte da data 30/07/2021 do satélite Landsat 8



Fonte: De autoria própria (2023).

**Figura 10.6** – NDVI de Belo Horizonte da data 02/08/2022 do satélite Landsat 8



Fonte: De autoria própria (2023).