

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE ARTES  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**LUCAS FREITAS PESSIM**

**VEGETAÇÃO, MORFOLOGIA URBANA E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM  
UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE: ESTUDO DE CASO EM COLATINA (ES,  
BRASIL)**

Vitória  
2024

LUCAS FREITAS PESSIM

**VEGETAÇÃO, MORFOLOGIA URBANA E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM  
UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE: ESTUDO DE CASO EM COLATINA (ES,  
BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Centro de Artes da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração Cidade e Impactos no Território, na linha de pesquisa "Patrimônio, Sustentabilidade e Tecnologia".

Orientadora: Dra. Daniella do Amaral Mello Bonatto

Vitória  
2024

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

P475v Pessim, Lucas Freitas, 1996-  
Vegetação, Morfologia Urbana e Temperatura de Superfície  
em uma cidade de médio porte : Estudo de caso em Colatina  
(ES, Brasil) / Lucas Freitas Pessim. - 2024.  
178 f. : il.

Orientadora: Daniella do Amaral Mello Bonatto.  
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Climatologia urbana. 2. Vegetação urbana. 3.  
Sensoriamento remoto. 4. Mudanças climáticas. I. Bonatto,  
Daniella do Amaral Mello. II. Universidade Federal do Espírito  
Santo. Centro de Artes. III. Título.

CDU: 72

---

LUCAS FREITAS PESSIM

**“VEGETAÇÃO, MORFOLOGIA URBANA E TEMPERATURA DE  
SUPERFÍCIE EM UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE: ESTUDO DE  
CASO EM COLATINA (ES, BRASIL)”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito  
Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em  
Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 24 de junho de 2024.

Comissão Examinadora

Documento assinado digitalmente  
 DANIELLA DO AMARAL MELLO BONATTO  
Data: 13/06/2024 16:39:23-0300  
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

---

Profa. Dra. Daniella do Amaral Mello Bonatto  
(orientadora – PPGAU/UFES)

Documento assinado digitalmente  
 CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ  
Data: 13/06/2024 16:25:55-0300  
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

---

Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez  
(membra interna – PPGAU/UFES)

Documento assinado digitalmente  
 DENISE HELENA SILVA DUARTE  
Data: 20/06/2024 11:02:23-0300  
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

---

Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte  
(membra externa – USP)

Dedico, com uma saudade grande no peito, este trabalho a minha saudosa avó (carinhosamente chamada de Vovó Irene), que nos deixou esse ano. Em tudo temos que dar graças, mesmo nos momentos de turbulência que passamos. Obrigado por tudo que a senhora fez por mim, desde a infância. Sempre me recordo do que a senhora dizia: “o conhecimento é a maior riqueza que os pais podem deixar para seus filhos, ninguém toma ele de você”, acho que, de alguma forma, estou seguindo seu conselho. Espero que esteja em paz. Pode ficar tranquila, todos nós estamos tomando conta do vovô pra senhora. Eu sempre pego um copinho de água pra ele beber. Se a senhora puder, olhe por nós. Do seu “nino”, “a menor latinha do jogo de lata”, “coração miúdo” ou tantos outros apelidos que a senhora me dava.

*Bença Vó.*



## **AGRADECIMENTOS**

Nessa pequena parte da minha dissertação, posso escrever o que de fato estou sentindo após essa longa jornada. Sem autores de referência, só o Lucas.

Desde muito pequeno aprendi o quão importante é agradecer. Mas hoje eu consigo entender que agradecer é diferente de estar se sentindo grato. É maravilha sentir gratidão. Em primeiro lugar, faz bem à alma; em segundo, é sinônimo que a caminhada, mesmo que por alguns momentos, foi dividida com alguém; em terceiro, significa que algo foi feito, não sozinho, mas acompanhado. Diante disso, talvez essa pequena parte da minha dissertação, não seja tão pequena assim.

Inicialmente, agradeço a Deus, criador de tudo e de todos. Toda a Honra e Glória sejam dadas a ti, Senhor! Continuo e continuarei Te agradecendo, pois tudo o que sou, tudo o que tenho e tudo o que me espera, pertencem a Ti. Obrigado, de coração, por tudo que precisei passar até chegar até aqui. O Lucas que brincava no córrego, lá na roça, cercado de água, natureza e vida, está caminhando pela trilha que o Senhor deixou. De forma geral, todas as pessoas que vão passar nesse singelo agradecimento foram colocadas no meu caminho de acordo com tua vontade. Que coisa boa, não é mesmo?

Agradeço a minha família! Suporte em todos os momentos, bons ou ruins. Obrigado pelas batalhas que lutaram por mim e eu nem sequer fiquei sabendo. Obrigado pela proteção, carinho e gentileza. Ser cercado de amor ajudou bastante na caminhada. Em especial, agradeço aos meus pais, Kátia e Laércio, ao meu irmão, Matheus, à Vovó Diva e à Tia Bida.

Iniciar o mestrado já era um sonho antigo. Desde muito novo sempre quis ser professor, não sabia de quê, mas sabia que ensinar era algo divino. Isso me fascinou. Depois que descobri a arquitetura e urbanismo vi a possibilidade de concretizar o sonho do menininho lá da roça. E olha só! Estou terminando um mestrado na Universidade Federal do Espírito Santo.

Durante o primeiro ano do mestrado, tive contato com pessoas que dividiram comigo as angústias desse período conturbado. Agradeço a amizade e parceria do meu amigo Jonathas que sempre me apoiou e ajudou a seguir em todos os momentos de

desânimo. A minha amiga Kamila, pelas palavras de carinho e atenção. Aos meus amigos, André e Igor, que além de dividir os dramas do mestrado, dividiram momentos de leveza e descontração na república.

À professora Daniella do Amaral Mello Bonatto, por toda a paciência, conversas, disposição e incentivo para a realização deste trabalho. Obrigado por acreditar no meu trabalho e em mim. Sem sombra de dúvidas foi uma caminhada de muito aprendizado e amadurecimento. Só tenho a agradecer!

Durante a graduação, tive a oportunidade de conviver e aprender com os melhores. Agradeço especialmente a minha querida professora e amiga, Renata Mattos Simões, que gentilmente me conduziu da graduação ao mestrado, sempre me ajudando e incentivando. Inclusive, devo a ela uma das melhores experiências que pude ter até então. Ser professor voluntário no Ifes campus Colatina. Lá pude vivenciar a alegria de ser professor e reencontrar professores e amigos.

Esse período foi fundamental para o desenvolvimento da minha dissertação. Foi lá que defini o tema, objetivo e metodologia. Além disso, estou concluindo o mestrado pois, através de Deus, a professora Minieli Fim, que dividia a turma Desenho Técnico I comigo, gentilmente conversou e me instruiu a dar seguimento no trabalho. Também foi no Ifes que tive a certeza de que vou ser professor. Quem me ajudou nisso foi a Turma V8, que me recebeu com paciência e compaixão. Obrigado a cada um de vocês!

O acolhimento de todos os professores que me ajudaram a entender um pouquinho de como é ser um docente foi fundamental. Agradeço imensamente à professora Amabeli, coordenadora do curso que me socorria sempre. Aos professores Alexandre, Sirana, Karla, Agostinho, Leandro, Vivian, Zé Maria, Julimara, Luísa, Márcia e Renilson por compartilhar experiências e ensinamentos, além de me formar enquanto profissional.

Em especial, gostaria agradecer aos professores Fábio e Abrahão que me auxiliaram nas dúvidas frequentes relacionadas ao sensoriamento remoto, geoprocessamento e estatísticas. Ao Wesley e Georgynio, da pós-graduação em engenharia ambiental da UFES, que me ajudaram na aquisição dos dados do sensor MODIS e sanaram diversas dúvidas.

Agradeço imensamente às contribuições de todos os professores do PPGAU-UFES, em especial às professoras Martha e Clara. À professora Liziane, que junto à professora Daniella, receberam-me carinhosamente em sala de aula para o estágio em docência. À professora Cristina, que desde o seminário de pesquisa acompanha o desenvolvimento da minha dissertação. À professora Denise, da FAUUSP, que participou da minha qualificação e fez comentários valiosos para o desenvolvimento do trabalho.

Ao ensino público, gratuito e de qualidade.

Este trabalho recebe apenas meu nome, mas eu digo com propriedade que deveria existir um “*et al.*”. Assim, mesmo que de forma sutil, representaria que o conhecimento foi feito em etapas e cada etapa foi fruto da doação de alguém. A mim foi doado tempo, atenção, gentileza, carinho, rigor, relevância, conhecimento, ciência e perseverança.

Novamente, agradeço a Deus pelo início e fim de um ciclo. Que o Senhor aceite a minha gratidão como reconhecimento de Sua grandeza. Aqui estou eu, mais uma vez, finalizando um agradecimento de uma produção acadêmica. Que venham mais, se o Senhor quiser!

Viu? Conseguiram perceber a diferença entre agradecer e se sentir grato?

A todos, o meu mais sincero e verdadeiro sentimento de gratidão!

Pouco com Deus é muito. Muito sem Deus é nada!  
(Vovó)

## RESUMO

A urbanização tem ocasionado mudanças significativas no clima urbano, evidenciando a importância dos estudos em climatologia urbana para compreender os impactos das atividades humanas nas cidades. A emergência climática intensifica ainda mais esses efeitos, tornando crucial a análise da interação entre a urbanização e o clima. Nesse contexto, esta pesquisa propõe-se a analisar espacialmente a temperatura de superfície e sua correlação com a vegetação e morfologia urbana em uma cidade de médio porte. A metodologia adotada envolveu revisão de literatura para embasar teoricamente a pesquisa, seguida da utilização de técnicas de georreferenciamento e sensoriamento remoto para aquisição, tratamento e processamento dos dados. O *LCZ Generator* foi empregado para conceber o mapeamento da morfologia urbana através das *Local Climate Zones (LCZ)*. Além disso, dados abertos foram adquiridos e manipulados no *software* QGIS para análise espacial. Os principais resultados não demonstraram correlação entre as variáveis de pesquisa – *LCZs*, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e temperatura de superfície diurna e noturna (LST) - conforme evidenciado pelos gráficos de dispersão e pelos coeficientes de Pearson e de determinação. Observou-se que as classes urbanas das *LCZs* apresentaram temperaturas de superfície diurnas mais amenas do que as classes rurais, influenciadas principalmente pela presença do rio Doce. Por outro lado, as classes rurais revelaram temperaturas de superfície diurnas mais elevadas, especialmente em áreas de pastagens, indicando um aquecimento superior em relação à área urbanizada. Foram identificados desafios relacionados à resolução espacial do sensor MODIS em cidades como Colatina, com manchas urbanas dispersas e fragmentadas. Além do exposto, verificou-se que áreas de caráter urbano e rural se encontravam em um mesmo pixel mascarando a heterogeneidade climática da região, apontando para a necessidade de abordagens mais refinadas ou o emprego de sensores com maior resolução espacial para estudos futuros. Desse modo, este estudo demonstra a importância da análise da correlação entre morfologia urbana, vegetação e LST para a compreensão da dinâmica climática em cidades de médio porte.

**Palavras-chave:** Colatina; Morfologia Urbana; NDVI; Temperatura de Superfície; *Local Climate Zones*.

## **ABSTRACT**

*Urbanization has caused significant changes in the urban climate, highlighting the importance of studies in urban climatology to understand the impacts of human activities in cities. The climate emergency further intensifies these effects, making the analysis of the interaction between urbanization and climate crucial. In this context, this research proposes to spatially analyze surface temperature and its manifestation with vegetation and urban morphology in a medium-sized city. The methodology involved a literature review to theoretically support the research, followed by the use of georeferencing and remote sensing techniques for data acquisition, treatment and processing. The LCZ Generator was hired to design the mapping of urban morphology through Local Climate Zones (LCZ). Furthermore, open data was acquired and manipulated in QGIS software for spatial analysis. The main unrevealed results between the research variables – LCZs, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and day and night surface temperature (LST) – as evidenced by scatterplots and Pearson and determination coefficients. It should be noted that the urban classes of the LCZs presented milder daytime surface temperatures than the rural classes, mainly influenced by the presence of the Doce River. On the other hand, rural classes revealed higher daytime surface temperatures, especially in pasture areas, reducing greater warming compared to the urbanized area. Challenges related to the spatial resolution of the MODIS sensor were identified in cities such as Colatina, with dispersed and fragmented urban areas. In addition to the above, it was found that urban and rural areas were located in the same pixel, masking the region's climatic heterogeneity, pointing to the need for more refined approaches or the use of sensors with greater spatial resolution for future studies. Thus, this study demonstrates the importance of analyzing the concentration between urban morphology, clusters and LST for understanding climate dynamics in medium-sized cities.*

**Keywords:** *Colatina; Urban Morphology; NDVI; Land Surface Temperature; Local Climates Zones.*

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                       |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                               | <b>21</b>  |
| 1.1      | OBJETIVOS.....                                                                                        | 25         |
| 1.1.1    | Objetivo geral.....                                                                                   | 25         |
| 1.1.2    | Objetivo específico.....                                                                              | 25         |
| 1.2      | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....                                                                        | 26         |
| <b>2</b> | <b>EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS<br/>TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS .....</b> | <b>29</b>  |
| 2.1      | EFEITO ESTUFA E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA.....                                                             | 29         |
| 2.1.1    | As emissões de CO <sub>2</sub> .....                                                                  | 32         |
| 2.1.2    | O papel da vegetação no enfrentamento das Emergência climática .....                                  | 35         |
| 2.2      | CLIMA URBANO.....                                                                                     | 38         |
| 2.2.1    | Morfologia Urbana e sua influência no Microclima Urbano .....                                         | 44         |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                                                                              | <b>49</b>  |
| 3.1      | RECORTE TERRITORIAL .....                                                                             | 52         |
| 3.2      | AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE .....                                                               | 52         |
| 3.3      | PROCESSAMENTO DOS DADOS .....                                                                         | 54         |
| 3.3.1    | Local Climate Zones (LCZs) .....                                                                      | 54         |
| 3.3.2    | Temperatura de superfície.....                                                                        | 62         |
| 3.3.3    | Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI).....                                             | 62         |
| 3.3.4    | Análises estatísticas .....                                                                           | 64         |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                                                    | <b>69</b>  |
| 4.1      | A CIDADE DE COLATINA: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO<br>FÍSICO-TERRITORIAL.....                     | 69         |
| 4.1.1    | Caracterização Físico-Territorial De Colatina .....                                                   | 71         |
| 4.1.2    | Uso e Ocupação em Colatina .....                                                                      | 81         |
| 4.1.3    | Ausência de massas vegetadas e fragilidades ambientais .....                                          | 90         |
| 4.1.4    | Caracterização socioeconômica de Colatina .....                                                       | 96         |
| 4.2      | LOCAL CLIMATES ZONES (LCZ).....                                                                       | 106        |
| 4.3      | ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI).....                                             | 135        |
| 4.4      | TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE .....                                                                       | 140        |
| 4.5      | ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....                                                                           | 147        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                      | <b>158</b> |
|          | <b>REFERÊNCIA .....</b>                                                                               | <b>162</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Estudo do IPCC comparando os fatores antropogênicos e naturais +.....                                  | 31 |
| Figura 2 – Medições da concentração de CO <sub>2</sub> desde o ano de 2005 .....                                  | 32 |
| Figura 3 – Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2020 (GtCO <sub>2</sub> e) ...                  | 34 |
| Figura 4 – Componentes climáticos .....                                                                           | 39 |
| Figura 5 – Camadas verticais da atmosfera urbana. ....                                                            | 40 |
| Figura 6 – Perfil esquemático da Ilha de Calor Urbana .....                                                       | 43 |
| Figura 7 – Influência dos edifícios na dispersão de poluentes.....                                                | 44 |
| Figura 8 – Representação do <i>canyon</i> urbano .....                                                            | 45 |
| Figura 9 – Esquema metodológico da dissertação .....                                                              | 49 |
| Figura 10 – Página inicial do <i>LCZ Generator</i> com instruções.....                                            | 57 |
| Figura 11 – Etapa de criação das AT .....                                                                         | 60 |
| Figura 12 – Configuração do estilo da <i>LCZ</i> .....                                                            | 60 |
| Figura 13 – Valores do NDVI.....                                                                                  | 63 |
| Figura 14 – Exemplo de gráfico de dispersão.....                                                                  | 64 |
| Figura 15 – Valores do Coeficiente de Pearson.....                                                                | 65 |
| Figura 16 – Exemplo de um gráfico <i>Boxplot</i> . ....                                                           | 67 |
| Figura 17 – Localização de Colatina .....                                                                         | 69 |
| Figura 18 – Evolução urbana de Colatina .....                                                                     | 70 |
| Figura 19 – Mancha urbana e eixos viários de Colatina (1982).....                                                 | 72 |
| Figura 20 – Mapa de relevo de Colatina .....                                                                      | 74 |
| Figura 21 – Mapa de relevo de Colatina com foco no perímetro urbano.....                                          | 75 |
| Figura 22 – Mapa de declividade de Colatina .....                                                                 | 77 |
| Figura 23 – Mapa de declividade de Colatina com foco no perímetro urbano .....                                    | 78 |
| Figura 24 – Perspectiva tridimensional de parte da mancha urbana de Colatina e mosaico de imagens da cidade ..... | 79 |
| Figura 25 – Mosaico de imagens ilustrando a cidade de Colatina.....                                               | 80 |
| Figura 26 – Derrubada da vegetação nativa na margem norte do rio Doce em Colatina .....                           | 82 |
| Figura 27 – Uso do solo em Colatina .....                                                                         | 84 |
| Figura 28 – Uso do solo no perímetro urbano de Colatina .....                                                     | 85 |
| Figura 29 – Evolução do perímetro urbano de Colatina.....                                                         | 87 |
| Figura 30 – Sistema viário de Colatina.....                                                                       | 88 |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 31 – Imagens da ocupação urbana em Colatina. ....                                                                | 89  |
| Figura 32 – Dados climatológicos de Colatina - 1991 a 2021 .....                                                        | 91  |
| Figura 33 – Gráfico das temperaturas registradas em pontos medidos da cidade .....                                      | 92  |
| Figura 34 – Localização dos pontos de medição. ....                                                                     | 93  |
| Figura 35 – Porcentagem de domicílios sem arborização viária no entorno – Censo IBGE 2010 .....                         | 95  |
| Figura 36 – Mapa de densidade populacional dos setores censitários. ....                                                | 99  |
| Figura 37 – Exemplos de localidades com alta e baixa densidades .....                                                   | 100 |
| Figura 38 – Rendimento nominal médio mensal.....                                                                        | 102 |
| Figura 39 – Porcentagem população branca (%). ....                                                                      | 104 |
| Figura 40 – Porcentagem população preta e parda (%). ....                                                               | 105 |
| Figura 41 – Componentes da Paisagem urbana e rural das <i>LCZs</i> .....                                                | 107 |
| Figura 42 – Áreas de Treinamento em Colatina. ....                                                                      | 108 |
| Figura 43 – Mapa de cobertura vegetal no perímetro urbano de Colatina. ....                                             | 110 |
| Figura 44 – Mapa de corpos d'água no perímetro urbano de Colatina.....                                                  | 111 |
| Figura 45 – Quantitativo de áreas de treinamento .....                                                                  | 112 |
| Figura 46 – Mapa de <i>LCZ</i> de Colatina .....                                                                        | 113 |
| Figura 47 – Gráfico de Acurácia .....                                                                                   | 114 |
| Figura 48 – Mapa de <i>LCZ</i> perímetro urbano de Colatina .....                                                       | 116 |
| Figura 49 – Mapa de <i>LCZ</i> com aproximação da mancha urbana e identificação dos bairros. ....                       | 117 |
| Figura 50 – Sobreposição de mapa de <i>LCZ</i> com imagem de satélite mostrando algumas classificações incorretas. .... | 119 |
| Figura 51 – Loteamentos classificados como <i>LCZ D</i> . ....                                                          | 120 |
| Figura 52 – Mapa de <i>LCZ</i> perímetro urbano de Colatina reclassificado .....                                        | 122 |
| Figura 53 – <i>LCZ 2</i> no bairro Centro e Esplanada. ....                                                             | 123 |
| Figura 54 - <i>LZC 8</i> no bairro Industrial Alves Marques.....                                                        | 124 |
| Figura 55 – Loteamento após o processo de reclassificação. ....                                                         | 125 |
| Figura 56 – Loteamentos após o processo de reclassificação. ....                                                        | 125 |
| Figura 57 – <i>LCZ 2</i> .....                                                                                          | 127 |
| Figura 58 – <i>LCZ 3</i> .....                                                                                          | 128 |
| Figura 59 – <i>LCZ 6</i> .....                                                                                          | 129 |
| Figura 60 – <i>LCZ 8</i> .....                                                                                          | 130 |
| Figura 61 – <i>LCZ 9</i> .....                                                                                          | 131 |

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 62 – LCZ A.....                                                                         | 131 |
| Figura 63 – LCZ B.....                                                                         | 132 |
| Figura 64 – LCZ D .....                                                                        | 133 |
| Figura 65 – LCZ G .....                                                                        | 133 |
| Figura 66 – NDVI para o município de Colatina.....                                             | 137 |
| Figura 67 – Resultados de NDVI com aproximação para a mancha urbana. ....                      | 138 |
| Figura 68 – Temperatura de superfície diurna no perímetro urbano de Colatina.....              | 141 |
| Figura 69 – Variação da Temperatura de Superfície no recorte da pesquisa, Rio de Janeiro. .... | 142 |
| Figura 70 – Temperatura de superfície noturna no perímetro urbano de Colatina ....             | 146 |
| Figura 71 – Bairro centro em Colatina e vista para o Rio Doce.....                             | 150 |
| Figura 72 – Pastagem degradada em Colatina.....                                                | 151 |
| Figura 73 - Temperatura de superfície diurna com pixel de 1 quilômetro. ....                   | 154 |
| Figura 74 - Sobreposição das variáveis de analisadas.....                                      | 157 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Local Climate Zones ( <i>LCZ</i> ), Tipologias construtivas e definições ..... | 54 |
| Quadro 2 – Orientação para criação das áreas de treinamento.....                          | 58 |
| Quadro 3 – Dados de saída do <i>LCZ</i> Generator .....                                   | 61 |
| Quadro 4 – Valores dos coeficientes de determinação e sua interpretação. ....             | 66 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                 |    |
|-----------------|----|
| Equação 1 ..... | 62 |
| Equação 2 ..... | 63 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfico 1 – Porcentagens de uso e ocupação no território colatinense. ....                   | 86  |
| Gráfico 2 – Índice de Gini da renda domiciliar per capita em Colatina. ....                  | 101 |
| Gráfico 3 – Porcentagem de área ocupada por cada classe no perímetro urbano. ....            | 118 |
| Gráfico 4 – Porcentagem de cada classe no perímetro urbano, após a reclassificação.<br>..... | 126 |
| Gráfico 5 – Classes de <i>LCZs</i> agrupadas em categoria urbana, rural e água.....          | 126 |
| Gráfico 6 – Correlação entre LST diurna e noturna e NDVI .....                               | 148 |
| Gráfico 7 – Correlação entre LST diurna e noturna e hipsometria. ....                        | 149 |
| Gráfico 8 – Correlação entre LST diurna e noturna e declividade. ....                        | 149 |
| Gráfico 9 – Variação da temperatura de superfície diurna para cada <i>LCZ</i> . ....         | 150 |
| Gráfico 10 – Variação da temperatura de superfície noturna para cada <i>LCZ</i> . ....       | 152 |
| Gráfico 11 – NDVI por classes de <i>LCZs</i> .....                                           | 153 |

## LISTA DE ABREVIACES

|                   |                                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>ATs</b>        | reas de treinamento                                                    |
| <b>CO2</b>        | Dióxido de Carbono                                                      |
| <b>COVID-19</b>   | <i>Corona Virus Disease 2019</i>                                        |
| <b>DN</b>         | <i>Digital number</i>                                                   |
| <b>EFVM</b>       | Estrada de Ferro Vitória-Minas                                          |
| <b>EMPRAPA</b>    | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                             |
| <b>FVC</b>        | Fator de visão do céu                                                   |
| <b>GEE</b>        | Gases de efeito estufa                                                  |
| <b>GEOBASES</b>   | Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo     |
| <b>GISS</b>       | <i>Goddard Institute for Space Studies</i>                              |
| <b>GtCO2</b>      | Gigatoneladas de Dióxido de Carbono                                     |
| <b>H/W</b>        | Altura dos edifícios e largura da via, respectivamente                  |
| <b>IBGE</b>       | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                         |
| <b>IJSN</b>       | Instituto Jones dos Santos neves                                        |
| <b>INCAPER</b>    | Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural    |
| <b>IPCC</b>       | Painel Intergovernamental sobre Emergncia climática                    |
| <b>LCZ</b>        | <i>Local climate zones</i>                                              |
| <b>LST</b>        | <i>Land surface temperature</i>                                         |
| <b>MODIS</b>      | <i>Moderate resolution imaging spectroradiometer</i>                    |
| <b>NASA</b>       | <i>National aeronautics and space administration</i>                    |
| <b>NDVI</b>       | <i>Normalized difference vegetation index</i>                           |
| <b>NIR</b>        | Infravermelho prximo                                                   |
| <b>PMC</b>        | Prefeitura Municipal de Colatina                                        |
| <b>RED</b>        | Banda Espectral Vermelho                                                |
| <b>SARS-CoV-2</b> | <i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>                  |
| <b>SEEG</b>       | Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa |
| <b>TST</b>        | Temperatura de superfície terrestre                                     |
| <b>USGS</b>       | <i>United states geological survey</i>                                  |
| <b>WUDAPT</b>     | <i>World Urban Database and Access Portal Tool</i>                      |



A word cloud centered around the word "INTRODUÇÃO" in large green letters. Other words include "Mudanças Climáticas" in red, "Temperatura de Superfície" in yellow, "Uso dos solos" in grey, "Cidades Verdes" in green, "Ilha de Calor" in yellow, "Dióxido de Carbono" in red, "Legislação" in orange, "Sensoriamento remoto" in purple, "Planejamento" in orange, "Urbanização" in grey, "Cânions urbanos" in blue, "Árvores" in green, "Ação Antrópica" in yellow, "Conforto" in blue, "Edifícios" in grey, "Desenho Urbano" in orange, "Clima" in blue, "Microclima urbano" in yellow, "NDVI" in green, "Radição" in red, "Adaptação" in blue, "Vegetação" in green, "MODIS" in purple, "Aquecimento Global" in red, "Temperatura" in yellow, "Pessoas" in blue, "Verde Urbano" in green, "Colatina" in orange, "Georreferenciamento" in purple, and "Ilha de Calor" in yellow.

Temperatura  
Vegetação  
Aquecimento  
Global  
Cidades  
Verde  
Urbano  
Pessoas  
Uso dos solos  
Conforto  
Edifícios  
Temperatura  
de Superfície  
Adaptação  
Radição  
Microclima  
urbano  
NDVI  
Clima  
Desenho Urbano  
Sensoriamento  
remoto  
Planejamento  
Urbanização  
Cânions  
urbanos  
Árvores  
Ação Antrópica  
Mudanças  
Climáticas  
Ilha de Calor  
Dióxido de Carbono  
Legislação  
Georreferenciamento  
Colatina

## 1 INTRODUÇÃO

A ação antrópica tem contribuído fortemente para o intensificar a emergência climática, principalmente em função das emissões de gases de efeito estufa (GEE) oriundos da queima de combustíveis fósseis, concentradas majoritariamente nos centros urbanos (IPCC, 2021). No contexto brasileiro, as emissões são influenciadas pela mudança no uso do solo, pecuária e pelos setores de energia, indústria e resíduos. Em 2020, o Brasil apresentou a maior taxa de emissões de CO<sub>2</sub> desde 2003, indo contra as estatísticas globais que apresentaram redução em função da pandemia do vírus SARS-CoV-2 (Observatório do Clima, 2021).

O sexto Relatório de Avaliação do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Emergência climática) identificou que as emissões de GEE de origem antropogênica aumentaram significativamente no período de 2010 a 2019 (IPCC, 2022). Destaca-se, nesse cenário, as emissões relativas ao Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), um dos principais responsáveis pela intensificação do efeito estufa (Xavier; Kerr, 2008; Yu, 2004).

De acordo com Yu (2004), a vegetação naturalmente sequestra dióxido de carbono livre na atmosfera pelo processo de fotossíntese e o sintetiza em forma matéria lenhosa, sendo, portanto, um estoque natural de carbono. Todavia, a realidade que grande parte das cidades vêm enfrentando é a perda do aspecto natural e de áreas vegetadas, principalmente em função do processo de urbanização que, além desses impactos, gera poluição atmosférica e alteração da cobertura do solo (Oliveira; Ganem; Baptista, 2017).

Outro ponto a ser levado em consideração é que, de acordo com o Relatório Mundial das Cidades, lançado em 2022 pela ONU-Habitat, o planeta continuará a se urbanizar e terá, em 2050, 68% de sua população residindo nos centros urbanos, ou seja, “as cidades vieram para ficar e o futuro da humanidade é sem dúvida urbano” (ONU-Habitat, 2022, p. 4). Ademais, as cidades e metrópoles têm o desafio de acomodar essa população oferecendo qualidade de vida e bem-estar e, ainda, enfrentar a crise climática (Lehmann, 2021).

A consequência desse processo é a intensificação na urbanização, tendo em vista o aumento populacional e a necessidade de abrigar esse contingente. Assim, inerente

## 1. INTRODUÇÃO

ao processo de urbanização, ocorrem sucessivas perdas de elementos naturais, como massas vegetadas e corpos hídricos, dando lugar a superfícies impermeabilizadas e a materiais que tendem a modificar a dinâmica microclimática da localidade, contribuindo para elevação da temperatura, na poluição do ar e refletindo em baixa qualidade de vida para os cidadãos (Silva; Silva, 2020).

Dessa maneira, as cidades são responsáveis por alterarem a configuração natural do relevo, a disponibilidade de vegetação, a cobertura do solo, o regime de chuvas e, conseqüentemente, alteram o microclima, resultando, na maioria das vezes, em locais com temperaturas mais elevadas que o ambiente rural (Ferreira, 2019; Oke *et al.*, 2017; Romero, 2011).

Corroborando com essa afirmação, Monteiro e Mendonça (2015) afirmam que a urbanização e seus impactos são fortes influenciadores do clima local. Nessa perspectiva, Barbirato, Souza e Torres (2007) descrevem que o clima urbano é uma interação de fatores de escalas globais e locais juntamente com elementos climáticos que caracterizam determinada localidade.

Em complemento, Romero (2013) expõe que esses fatores acontecem em conjunto, interrelacionam-se e se afetam. Assim, evidencia-se que nenhum clima é exatamente igual ao outro e que fatores globais, como a emergência climática, podem afetar, direta ou indiretamente, o clima em escala local. Além disso, as cidades alteram o balanço de energia em função de sua materialidade, quase sempre utilizando concreto e asfalto, que são materiais que armazenam grande quantidade de calor (Oke *et al.*, 2017).

Amorim (2021) demonstra que o excesso de áreas impermeabilizadas e construções, a alteração do solo natural e as atividades humanas conduzem ao aumento de temperatura das áreas urbanizadas e conseqüentemente ao desconforto térmico sentido pela população. Como resultado, esses fatores acarretam o surgimento das ilhas de calor, fenômenos noturnos que aquecem as cidades (Ferreira, 2019; Barbirato; Souza; Torres, 2007; Oke *et al.*, 2017).

Nessa perspectiva, deve-se levar em consideração esses fatores no planejamento das cidades. Contudo, tradicionalmente o planejamento urbano é fragmentado e desarticulado do planejamento ambiental, dando às infraestruturas cinzas (sistema

## 1. INTRODUÇÃO

viário, impermeabilização do solo ou drenagem) majoritário destaque em detrimento às infraestruturas verde e azul. Esse processo culmina em perda na qualidade urbana e, também, na paisagem (Bonatto, 2019; Bonatto; Gava; 2022). Apesar da contemporaneidade da emergência climática, de seus impactos na sociedade e das sólidas evidências de correlação entre a ação antrópica com os eventos extremos presenciados (IPCC, 2021), a questão climática ainda não é protagonista nas decisões de planejamento urbano.

Nessa perspectiva, mais cidades se desenvolverão pautadas em aspectos que vão contra os estudos climatológicos, não tendo um planejamento sistêmico que integra as diversas nuances presentes no ambiente urbano, contribuindo para uma urbanização ineficiente. Portanto, deve-se considerar os estudos de clima urbano no planejamento de cidades mais sustentáveis e resilientes e que consigam combater as adversidades climáticas.

Uma ferramenta que permite a aquisição e tratamento de dados e, posteriormente, possibilita a integração dos estudos climatológicos no planejamento urbano é o sensoriamento remoto para a aquisição de imagens de satélites. Adicionalmente, o georreferenciamento é utilizado para o tratamento e processamento das imagens. Assim, é possível utilizar essas tecnologias para verificar, por exemplo, a correlação entre a morfologia urbana, a presença de vegetação e a temperatura de superfície nas cidades, para compreender como o clima de determinada região se caracteriza e propor diretrizes de planejamento (Pessi *et al.*, 2019; Sanches; Souza, 2023).

O uso do sensoriamento remoto desempenha um papel fundamental na climatologia urbana, permitindo a obtenção de dados com resolução espacial e temporal para a análise do ambiente urbano. Essa abordagem possibilita a aquisição de imagens térmicas, que são essenciais para calcular indicadores como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a Temperatura de Superfície da Terra (LST). O NDVI é uma medida importante da saúde e densidade vegetal, enquanto a LST fornece informações cruciais sobre os padrões de temperatura em áreas urbanas e rurais (Pessi *et al.*, 2019; Sousa; Ferreira, 2012; Voogt; Oke 2003; Silva *et al.*, 2018). A combinação desses dados permite uma compreensão abrangente das interações entre a morfologia urbana, a cobertura vegetal e o clima local.

## 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho, a morfologia urbana é analisada sob a ótica das Local Climate Zones (LCZs). As LCZs são um sistema de classificação desenvolvido por Stewart e Oke (2012) que categoriza a paisagem urbana com base em características morfológicas e climáticas distintas. Para definir as LCZs, foi utilizada a ferramenta de classificação supervisionada chamada LCZ Generator, desenvolvido por Demuzere, Kittner e Bechtel (2021).

Essa ferramenta amplamente utilizada para a identificação e mapeamento dessas zonas, fornece uma abordagem padronizada e eficiente para a análise do ambiente urbano. A relevância das LCZs reside na sua capacidade de representar a heterogeneidade climática dentro das cidades, considerando fatores como densidade de construção, vegetação e exposição solar (Stewart e Oke, 2012). Essa classificação permite uma compreensão mais precisa dos padrões climáticos locais, fator importante para um planejamento urbano sustentável

Tendo em vista essas discussões, o **problema** desta pesquisa se refere aos impactos da urbanização sobre o microclima urbano e suas consequências para a sociedade. Levando isso em consideração, pretende-se responder à seguinte **pergunta de pesquisa**: Qual a correlação entre a temperatura de superfície, morfologia urbana e NDVI em uma cidade de médio porte?

Define-se, portanto, como **objeto de estudo** desta pesquisa a correlação entre a temperatura de superfície, NDVI e a morfologia urbana, sendo obtidas e processadas por meio do sensoriamento remoto e georreferenciamento.

O **recorte territorial** delimitado por essa pesquisa é o perímetro urbano do município de Colatina, situado no noroeste do estado do Espírito Santo. A cidade possui ilhas de calor, principalmente na região central da cidade (Amorim et. al, 2020), e a perda significativa de áreas naturais vegetadas desde o período de sua formação territorial (Coelho, 2009). Além disso, a cidade vivencia o fenômeno da dispersão urbana (Simões; Mendonça, 2015; Albani; Assis, 2018) e tem sofrido com desastres hidrológicos e geológicos (Oliveira, 2023; Oliveira; Bonatto, 2022; Oliveira; Simões; Bonatto, 2022).

## 1. INTRODUÇÃO

Neste sentido, os estudos acerca do clima urbano têm aumentado e tornam-se **justificáveis** pois são realizados com o intuito de solucionar os problemas que comprometem o desenvolvimento sustentável das cidades (Silva; Silva, 2020). Ademais, a emergência climática intensificada pelas ações antrópicas tem provocado uma série de adversidades que afetam o ser humano em diferentes contextos e escalas. No cenário atual, sabe-se que a elevação da temperatura média global, intensificada pelas emissões de gases do efeito estufa, deixa de ser uma especulação e se torna uma realidade, contribuindo para a formação de ilhas de calor, alteração do regime de chuvas e impactos no equilíbrio ecológico, dentre outras consequências (IPCC, 2022).

Além disso, o presente estudo tem potencial para ser replicado em outros municípios que apresentam configuração espacial semelhante a Colatina, como cidades de médio porte localizadas em regiões de fundo de vale banhadas por corpos d'água. Nesse panorama, as áreas verdes urbanas têm potencial para o enfrentamento da emergência climática e, além disso, prestam diversos serviços ecossistêmicos, como a melhoria da qualidade do ar, conforto térmico e acústico, ajudam a regular o regime hídrico e melhoram a saúde urbana nos aspectos físicos e psicológicos. Diante do exposto, torna-se justificável a emergência em debater o assunto, compreender as dinâmicas envolvidas e contribuir com proposições que possam mitigar esses impactos.

### 1.1 OBJETIVOS

Para a elaboração deste trabalho, foram designados os seguintes objetivos:

#### 1.1.1 Objetivo geral

Analisar espacialmente a temperatura de superfície e sua correlação com a vegetação e morfologia urbana em uma cidade de médio porte.

#### 1.1.2 Objetivo específico

Os objetivos específicos delimitados são:

- a) Desenvolver estudo de caso para a cidade de Colatina, Espírito Santo, espacializando os dados de temperatura de superfície, NDVI e LCZ.

## 1. INTRODUÇÃO

- b) Identificar e caracterizar os padrões espaciais da temperatura de superfície diurna e noturna e do índice de vegetação por diferença normalizada.
- c) Analisar a morfologia urbana de Colatina e realizar a classificação em zonas climáticas locais.

### 1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

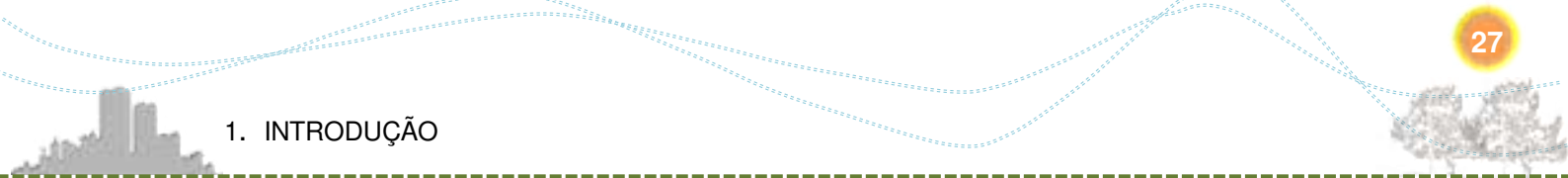
A dissertação possui seis capítulos seguindo a estruturação detalhada a seguir:

A introdução é o **primeiro capítulo**, onde é apresentado e contextualizado o tema da pesquisa. Nesta parte inicial, também é apresentado o problema sobre o qual o trabalho se debruça, bem como as inquietações que motivaram o seu desenvolvimento. Além disso, são apresentados os objetos de pesquisa, o recorte territorial, a justificativa, os objetivos e a estrutura da dissertação. Neste capítulo, também é mostrada a influência do homem como agente modificador do clima, em suas diversas escalas.

O **segundo capítulo** apresenta o embasamento teórico que norteou o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, apresenta-se uma contextualização acerca da emergência climática, onde a atividade antrópica é evidenciada como um impulsionador para o atual quadro climático que se presencia. Isto posto, mostra-se como a vegetação desempenha um papel de extrema importância no combate às adversidades climáticas em função dos diversos serviços ecossistêmicos prestados, salientando que, concomitante ao plantio de árvores e à ampliação do verde nas cidades, é **imperativo** que o processo de descarbonização continue e acelere seu ritmo.

No **terceiro capítulo**, apresenta-se a metodologia empregada para o desenvolvimento das etapas de trabalho. Nesta parte, são introduzidas as considerações iniciais adotadas, as ferramentas e *softwares* utilizados bem como os parâmetros e referências metodológicas que compõem a dissertação.

O **quarto capítulo** mostra a aplicação do método, os resultados e as discussões no recorte territorial delimitado. Faz uma análise das condicionantes necessárias à compreensão da cidade de Colatina-ES, assim, inicialmente é mostrado, sucintamente, o processo de desenvolvimento urbano da cidade, as características físico-territoriais, como topografia, declividade, o uso e ocupação do solo, as fragilidades ambientais



## 1. INTRODUÇÃO

decorrentes da ausência de vegetação e, por fim, as análises obtidas por meio do sensoriamento remoto. Em seguida, são mostrados os resultados e as discussões da pesquisa, com base nas análises estatísticas, coleta e tratamento dos dados. Assim, é possível determinar se o método foi aplicado corretamente, levando em conta as particularidades que o local possui e comparar os resultados com outros trabalhos de referência.

O **quinto capítulo** traz as considerações finais e retorna aos objetivos da pesquisa, analisando se foram cumpridos ou não. Além disso, o capítulo apresenta um panorama de como o trabalho foi elaborado, discutindo a metodologia aplicada, as adversidades, e os resultados obtidos. Ademais, nas conclusões, também foram feitos considerações e apontamentos para pesquisas futuras.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas que subsidiaram a elaboração desta pesquisa.



## 2 EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

Este capítulo aborda os principais assuntos referentes à emergência climática e ao clima urbano.

### 2.1 EFEITO ESTUFA E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA

O efeito estufa acontece naturalmente e permite a manutenção da vida na terra, contudo, ações antrópicas, principalmente após a revolução industrial, têm potencializado as adversidades climáticas provocadas pelas emissões de GEE (Martins, 2004; Carvalho *et al.*, 2010; Yu, 2004; IPCC, 2022). Grande parte da radiação emitida pelo Sol é refletida ainda na atmosfera em direção ao espaço, contudo, aproximadamente dois terços é absorvida pela superfície terrestre. Nesse processo, a terra reflete parte radiação em direção à atmosfera, onde é absorvida pelos gases de efeito estufa, dessa maneira, o planeta passa a apresentar condições para a existência de vida, principalmente em função da temperatura que possibilita a presença de água em estado líquido (Carvalho *et al.*, 2010; Martins, 2004; Al-Ghussain, 2019).

A problemática está no aumento das concentrações de GEE na atmosfera que é fortemente influenciado pelas ações antrópicas, intensificando o efeito estufa e seus impactos negativos (Alvalá *et al.*, 2017; Al-Ghussain, 2019). O resultado desse acúmulo, proveniente principalmente da queima de combustíveis fósseis (Anderson; Hawkins; Jones, 2016), ocasiona o aquecimento global, que pode ser definido como “como o aumento da temperatura média da Terra” (Smitha, 2011, p. 226). De acordo com o sexto relatório do IPCC, aquecimento global tende a provocar o aumento no nível dos mares, derretimento das calotas polares, mudanças na precipitação, aumento na quantidade de furacões, mais enchentes, secas e ondas de calor, extinções de espécies, além disso, o setor agrícola e de produção de alimentos também serão afetados (IPCC, 2022).

Os gases que potencializam o efeito estufa retêm o calor emitido pela radiação solar e impedem que essa energia seja dissipada para o espaço (Khandekar; Murty; Chittibabu, 2005), gerando desequilíbrio nos ecossistemas terrestres em função do aumento na

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

temperatura. A literatura aponta o vapor d'água como um dos principais contribuintes do efeito estufa (Al-Ghussain, 2019; Xavier; Kerr, 2004; Smitha, 2011; Yu, 2004; IPCC, 2022), sendo responsável por aproximadamente dois terços do aquecimento global (Al-Ghussain, 2019; Smitha, 2011; Lacis *et al.*, 2010), entretanto, grande parte dos estudos é centrada na análise do dióxido de carbono. Primeiramente, é importante destacar que o CO<sub>2</sub> é um gás de efeito estufa que não se condensa, diferente do vapor d'água, assim, pode ficar na atmosfera por centenas de anos (Junges *et al.*, 2018), acumulando durante todo o período de emissões. Conforme a American Chemical Society (2022) evidencia:

[...] o vapor de água não controla a temperatura da Terra. Em vez disso, a quantidade de vapor de água é controlada pela temperatura. Isso ocorre porque a temperatura da atmosfera circundante limita a quantidade máxima de vapor de água que a atmosfera pode conter. Se um volume de ar contiver sua quantidade máxima de vapor de água e a temperatura diminuir, parte do vapor de água condensará para formar água líquida (American Chemical Society, 2022, n.p.).

Em segundo lugar, à medida que a concentração de CO<sub>2</sub> aumenta, e também de outros GEE, a temperatura tende a se elevar. Conforme Al-Ghussain (2019, p. 1) apresenta “[...] o CO<sub>2</sub> é considerado o fator controlador do aquecimento global. Em outras palavras, se a concentração de CO<sub>2</sub> não aumentasse, o aquecimento global não teria acontecido”.

De acordo com Junges *et al.* (2018) existem fatores naturais que podem influenciar a temperatura global. Al-Ghussain (2019) afirma que a terra já passou por diversas mudanças climáticas influenciadas por causas naturais, como a variação da radiação solar, o ciclo de Milankovitch <sup>1</sup> e as erupções vulcânicas. Essas evidências podem ser encontradas “em anéis de árvores, camadas de gelo em geleiras, sedimentos oceânicos, recifes de corais e camadas de rochas sedimentares” (Riebeek, 2010, n.p.).

Os eventos naturais acontecem simultaneamente aos impactos de origem antrópica, porém, agem de maneira mais lenta e provocam menos danos ao clima que as ações humanas, essas constatações são feitas por observações de satélites e através dos

---

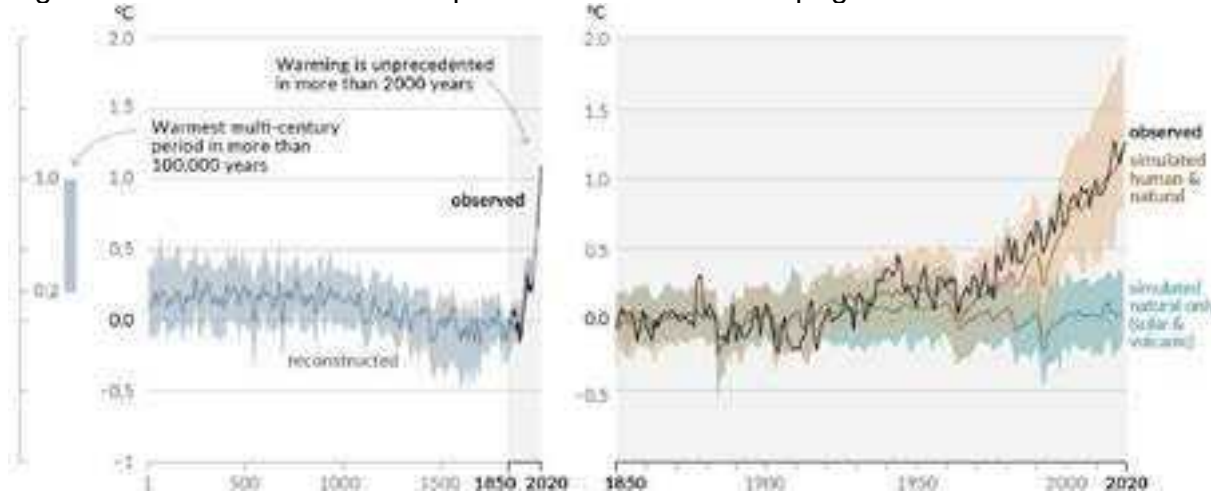
<sup>1</sup> Ciclo que acontece a cada 10.000 anos aproximadamente, fazendo com que a temperatura da terra aumente ou diminua, é influenciado por três aspectos: a excentricidade que correspondendo ao grau de variação da órbita da terra em relação ao sol, alterando sua forma de circular para elíptica; a obliquidade que é a variação no ângulo de inclinação da terra e a precessão que é o movimento do eixo de rotação da terra (CAMPISANO, 2012).

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

modelos climáticos que recriam os padrões de temperatura de tempos passados comparando-os com as condições atuais, evidenciando que a interferência humana tem influência significativa na emergência climática vigente (Al-Ghussain, 2019; Riebeek, 2010).

Conforme o IPCC (2021, p. 150) argumenta, “desde que as avaliações científicas sistemáticas começaram na década de 1970, a influência da atividade humana no aquecimento do sistema climático evoluiu da teoria para o fato estabelecido”. O IPCC (2021) também apresenta como a influência humana foi e ainda é determinante na alteração da temperatura, realizando um estudo comparativo entre os fatores naturais e antropogênicos (Figura 1). Além disso, o estudo evidencia que a contribuição humana gerou mudanças significativas em um período de tempo muito curto, com destaque para os últimos cinquenta anos que registraram as maiores temperaturas globais em dois mil anos (IPCC, 2021).

Figura 1 – Estudo do IPCC comparando os fatores antropogênicos e naturais



Fonte: IPCC, 2021, p. 6.

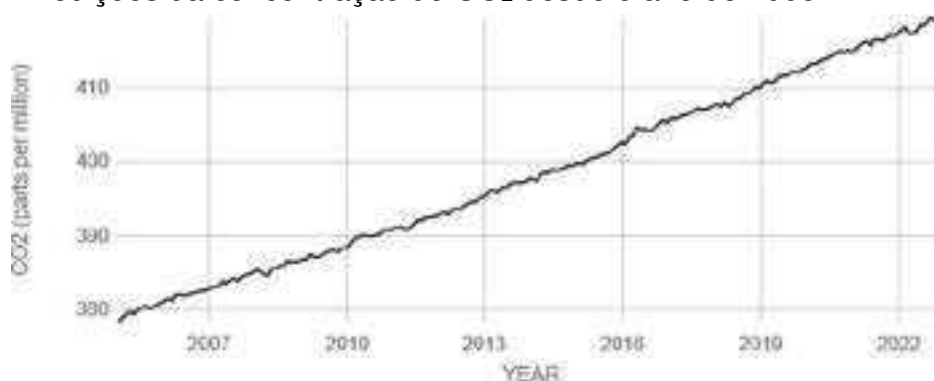
Conforme a Figura 1, fica evidente que os eventos naturais, de fato, podem ter influência na emergência climática, contudo, suas contribuições são mínimas e distribuídas em longos períodos de tempo, a exemplo do ciclo de Milankovitch que acontece a cada dez mil anos aproximadamente (Campisano, 2012). Esse cenário muda de perspectiva quando são analisadas as emissões de gases de efeito estufa de origem antrópica, mostrando-se grandes influenciadores nas mudanças de temperatura global. Conforme aponta o sexto relatório do IPCC (2022), a concentração de gases de efeito estufa na

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

atmosfera tem aumentado significativamente desde 1850, com destaque para o intervalo de 1990 a 2019 que computa aproximadamente 42% dessas emissões.

A NASA, por meio do observatório de Mauna Loa, Havaí, divulga os níveis atmosféricos de CO<sub>2</sub> desde o ano de 2005, conforme Figura 2, corroborando com os dados apresentados pelo IPCC (2021). A medição realizada em outubro de 2022, apresenta concentração de CO<sub>2</sub> de 419 ppm, superior à constatação do IPCC (2022) para o ano de 2019 (National Aeronautics And Space Administration, 2022).

Figura 2 – Medições da concentração de CO<sub>2</sub> desde o ano de 2005



Fonte: National Aeronautics and Space Administration, 2022.

Essas alterações têm consequências diretas nos ecossistemas terrestres e impactam “os ciclos biogeoquímicos, que são a base do funcionamento dos sistemas naturais do planeta” (Martins, 2004, p. 12). Tendo em vista a contribuição do CO<sub>2</sub> no agravamento do efeito estufa e os rebatimentos desse evento no futuro da humanidade, “compreender o ciclo do carbono é, portanto, muito importante para prever, gerenciar e se adaptar com precisão ao clima futuro” (Ahn *et al*, 2012, p. 1).

### 2.1.1 As emissões de CO<sub>2</sub>

Os ciclos biogeoquímicos permitem a conectividade entre os seres vivos e a atmosfera, os oceanos, a litosfera e as águas. Com destaque para o carbono, a transferência desse elemento acontece principalmente por meio da fotossíntese que o retira da atmosfera na forma de CO<sub>2</sub> e, posteriormente, retorna à mesma por meio do processo de respiração dos seres vivos, pela decomposição da matéria orgânica e por ações antrópicas (Bustamante; Ometto; Martinelli, 2017). Em complemento, Aduan, Vilela e Reis Júnior (2004) afirmam que:

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

O carbono, na forma de  $\text{CO}_2$ , é movimentado por processos naturais entre a atmosfera e os continentes e entre a atmosfera e o oceano. Os processos naturais envolvidos são: a fotossíntese, realizada por organismos autotróficos como as plantas terrestres; e o plâncton oceânico, a respiração realizada por todos os seres vivos e pelo material morto em decomposição e a dissolução oceânica. Essa movimentação pode ser vista como um processo cíclico, sendo geralmente denominada de o ciclo global de carbono (ADUAN; VILELA; REIS JÚNIOR, 2004, p.12-13).

Na visão de Martins (2004), os combustíveis fósseis são compostos formados por biomassa que se depositaram no solo ao longo de milhões de anos; a queima desses materiais para produção de energia libera o “carbono armazenado no subsolo para a atmosfera em um período de tempo que é milhões de vezes menor que o tempo que o carbono atmosférico leva para se transformar em petróleo ou carvão mineral” (Martins, 2004, p. 13). Segundo a autora, o agravante dessa situação é o desequilíbrio provocado pela diferença de escalas de tempo entre a formação do combustível fóssil, a queima e a liberação carbono na forma de  $\text{CO}_2$  para atmosfera.

De acordo com o sexto relatório do IPCC (2022), as emissões de  $\text{CO}_2$  referentes ao recorte temporal de 1850 até 2019 foram de aproximadamente  $2.400 \pm 240 \text{ GtCO}_2$  (gigatoneladas de  $\text{CO}_2$ ). Desse total, 42% aconteceram entre 1990 e 2019, indicando um padrão de intensificação das emissões mesmo com acordos firmados objetivando a redução, e 17% entre 2010 e 2019. Ressalta-se que no primeiro semestre de 2020, as emissões reduziram em função da pandemia da COVID-19, porém, ao final do ano já havia sido retomado o crescimento (Observatório do Clima, 2021). Esses dados evidenciam que a ação antrópica foi e ainda é determinante na elevação dos níveis de emissões de carbono na atmosfera.

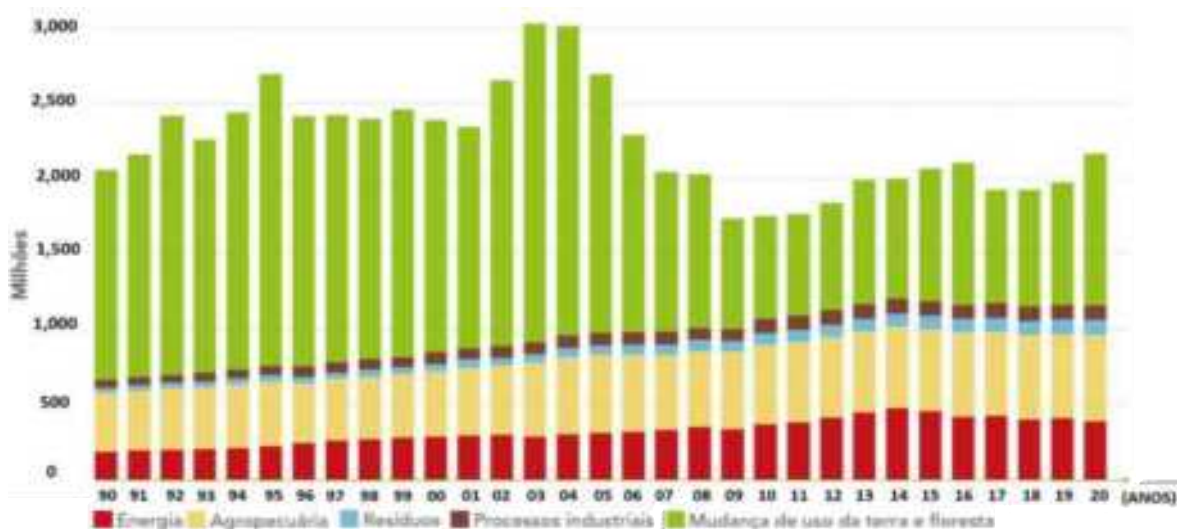
Grande parte dessas emissões são concentradas nas cidades (IPCC, 2022) e, no cenário nacional, têm origem na mudança de uso do solo, na pecuária, no setor de energia e nos setores industriais e de resíduos. No ano de 2020, o Brasil passou por um retrocesso no que diz respeito a conter as emissões de Dióxido de Carbono e no enfrentamento à emergência climática apresentando a maior taxa de emissão de  $\text{CO}_2$  desde o ano de 2003 (Observatório do Clima, 2021).

O relatório do IPCC (2022) ainda infere que as emissões aumentaram em quase todos os setores da economia global, dando destaque às cidades como fontes emissoras de carbono. Só no ano de 2019, 34% das emissões foram oriundas do setor de

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

fornecimento de energia, 24% da indústria, 22% da agricultura, silvicultura e outros usos do solo, 15% vieram do setor de transporte e aproximadamente 6% são provenientes das construções (IPCC, 2022). No ano de 2020, as emissões de carbono no Brasil tiveram alta de 9,5%, superando a média de 2006, e indo contra a taxa global que apresentou redução principalmente em função da pandemia da COVID-19. Diferente do parâmetro global, o principal setor emissor de carbono no Brasil é a mudança no uso do solo, contribuindo com 46% das emissões brutas de CO<sub>2</sub> do país, esse padrão se repete desde a década de 90 (Figura 3) e pode ser explicado principalmente pelo desmatamento (Observatório do Clima, 2021).

Figura 3 – Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2020 (GtCO<sub>2</sub>e)



Fonte: Observatório do Clima, p. 3, 2021, modificado pelo autor.

Como evidenciado na Figura 3, a mudança no uso do solo domina, na maioria dos anos, as emissões de GEE na atmosfera contribuindo com 46% do total ou 998 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (MtCO<sub>2</sub>e). Grande parte dessas emissões são oriundas da devastação da Floresta Amazônica e do cerrado, biomas severamente prejudicados pelas ações extrativistas de madeira ilegal, avanço das pastagens e queimadas ocasionadas pelo ser humano. Quando é levado em consideração o carbono sequestrado por florestas secundárias e áreas protegidas, essa porcentagem reduz para 24% (362 MtCO<sub>2</sub>e). Contudo, percebe-se que essas áreas têm reduzido e sofrido diversos ataques, não apenas de fazendeiros e madeireiros, mas também por parte do governo federal que desmontou e fragilizou políticas e órgãos ambientais a partir de 2019 (Observatório do Clima, 2021).

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

Conforme apresentado no relatório do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) (Observatório do Clima, 2021), a vegetação desempenha um importante serviço ecossistêmico sequestrando o carbono atmosférico. Todavia, os benefícios que a vegetação proporciona vão além da captura de carbono, conforme Bonatto (2019) apresenta:

[...]a presença de massas vegetadas é fundamental para garantir condições mínimas de conforto ambiental em áreas urbanizadas: [...] conferindo maior resiliência frente às alterações climáticas e impactos negativos dos processos de urbanização; promovem a regeneração de espaços já degradados; e podem qualificar os espaços livres de ruas, praças e parques, configurando um ambiente urbano mais equilibrado com o natural, agradável e atrativo (Bonatto, 2019, p. 342).

A seguir, são apresentadas as contribuições que a vegetação proporciona no enfrentamento da emergência climática.

### 2.1.2 O papel da vegetação no enfrentamento das Emergência climática

As conclusões do relatório do IPCC evidenciam que a emergência climática tem provocado cada vez mais ameaças à população através de eventos extremos como secas, tempestades, incêndios florestais, ondas de calor, elevação do nível do mar e, também, por meio do aumento na insegurança alimentar. Esses fenômenos podem ser mais ou menos agravados em função de como os ecossistemas aquáticos (água doce e salgada) e terrestres são protegidos ou ameaçados pelo homem (IPCC, 2022). O relatório ainda infere que:

Proteger e restaurar ambientes naturais, como florestas e pântanos, pode reduzir os riscos que as mudanças climáticas representam para as pessoas, além de apoiar a biodiversidade, armazenar carbono e fornecer muitos outros benefícios para a saúde humana e bem-estar (IPCC, 2022, p. 310).

Dessa forma, ecossistemas saudáveis contribuem na adaptação e mitigação da emergência climática, no enfrentamento da perda de biodiversidade e na promoção do bem-estar humano (Seddon *et al.*, 2020). Nessa perspectiva, preservar a vegetação nativa e aumentar as áreas de reflorestamento são contribuições significativas para o ser humano e para a natureza. Entretanto, algumas ressalvas surgiram em relação a essa prática, entre elas, a ideia de que reflorestar significa estagnar o processo de descarbonização da economia global, mantendo os atuais padrões na queima de combustíveis fósseis (Seddon *et al.*, 2020; Anderson *et al.*, 2019).

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

Outro ponto destacado pelos estudiosos é a utilização das monoculturas como forma de reflorestamento (Seddon *et al.*, 2020; Lewis *et al.*, 2019; Seddon *et al.*, 2021; Lehmann, 2021). Mesmo que a cobertura arbórea aumente e levando em consideração seu rápido crescimento, essas florestas de uma espécie só não contribuem para a preservação e manutenção da biodiversidade podendo, em alguns casos, abrigar espécies invasoras, proliferar doenças e agravar o estresse hídrico em determinadas regiões (Seddon *et al.*, 2020).

Existem fortes evidências de que florestas naturais e que apresentam diversidade de espécies são mais resilientes à emergência climática e contribuem sequestrando mais carbono que as florestas comerciais de monoculturas (Poorter *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2018; Lewis *et al.*, 2019; Lehmann, 2021). Além disso, florestas mais antigas também armazenam mais carbono (Liu *et al.*, 2018), evidenciando a importância em preservá-las.

A preservação das matas nativas e o aumento da cobertura vegetal deve ser empregado tanto no campo quanto nas áreas urbanas. Entretanto, deve-se dar atenção às cidades pois, apesar de ocupar entre 1% e 2% da superfície do planeta (Hamdi *et al.*, 2020), as cidades são as grandes responsáveis por consumir 75% de recursos naturais, produzir 50% de todo o resíduo do planeta e emitir de 60 a 80% do total de gases de efeito estufa na atmosfera (Lehmann, 2021).

Na visão de Hamdi *et al.* (2020, p. 631), “as cidades alteram o clima local e as condições climáticas, perturbando a temperatura, umidade, energia de superfície e campos de radiação, vento e turbulência em comparação com ambientes rurais.” Tendo isso em vista, a vegetação possui potencial em mitigar esses conflitos por meio dos serviços ecossistêmicos, prestados principalmente por massas vegetadas em áreas urbanas. Além disso, as intervenções podem ser aplicadas em cidades altamente adensadas com modificações locais (Biswal *et al.*, 2022).

Lehmann (2021) ressalta que as cidades são únicas e divergem em muitos aspectos, como tamanho, densidade, distribuição da população e de espaços verdes e, também, em relação aos aspectos climáticos. Assim, o autor evidencia que algumas estratégias podem funcionar para uma cidade, mas não serem tão eficazes em outra, deixando

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

claro que o planejamento urbano e o reconhecimento do lugar e suas condicionantes é fundamental para qualquer intervenção que aconteça nas cidades.

Um bom desenho e planejamento urbano pode dar uma contribuição positiva profunda para resolver os problemas relacionados às mudanças climáticas e aos desafios sociais. Transformar a prática de planejamento e arquitetura deve levar à entrega de um projeto urbano coerente e robusto, e não apenas objetos arquitetônicos. Combinado com estratégias de densificação suave, diferentes cenários de preenchimento urbano e a integração de SBN, a transformação e regeneração urbana precisarão ser simultaneamente densas e verdes. Como vários projetos mostraram, isso não é uma contradição – podemos ter os dois: **denso e verde combinados** (Lehmann, 2021, p. 2, grifo nosso).

O autor ainda destaca o papel calmante que a natureza possui (Lehmann, 2021), assim como os estudos de Barreto *et al.* (2019) que mostram os benefícios para a saúde mental em morar perto de áreas verdes. Além disso, a reintrodução da natureza na cidade contribui para um urbanismo mais resiliente e sustentável. Ressalta-se a necessidade de que o planejamento urbano seja pautado na utilização da natureza como recurso projetual e nas sinergias com os diversos setores da cidade.

Conforme Oke *et al.* (2017, p. 433), “dentre todos os elementos urbanos, a vegetação é o mais versátil para modificar o clima”. Quando analisada na escala microclimática, a vegetação desempenha importantes funções no ambiente urbano, como o sombreamento, a evapotranspiração, o embelezamento das vias e a melhoria na qualidade do ar. Essas características são diretamente influenciadas pelo porte da vegetação, pela densidade foliar, formato da copa, tipo de folhas e galhos, pela idade e saúde da espécie (Oke *et al.* 2017). Além do mais, a vegetação contribui no bloqueio à radiação solar, sombreando o solo e contribuindo positivamente para reduzir as temperaturas e o estresse térmico (Lindberg; Grimmond, 2011).

O desafio para o planejamento urbano é grande, pois “manter a biodiversidade diante da urbanização e desacelerar a perda de habitat, fragmentação de habitat e deterioração ambiental são alguns dos desafios extremos dos dias atuais” (Lehmann, 2021, p. 11). Apesar do progresso inerente ao processo de urbanização, esse não acontece sem gerar perturbações ambientais em diversas escalas, seja ela local, regional ou global.

As cidades possuem características específicas como relevo, densidade populacional, cobertura do solo e morfologia urbana, fatores que influenciam, positiva ou

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

negativamente, o microclima urbano. Diante do exposto, a seguir, são abordados os principais conceitos acerca do clima urbano e como ele é influenciado pela urbanização e, conseqüentemente pelo padrão de uso e ocupação do solo.

### 2.2 CLIMA URBANO

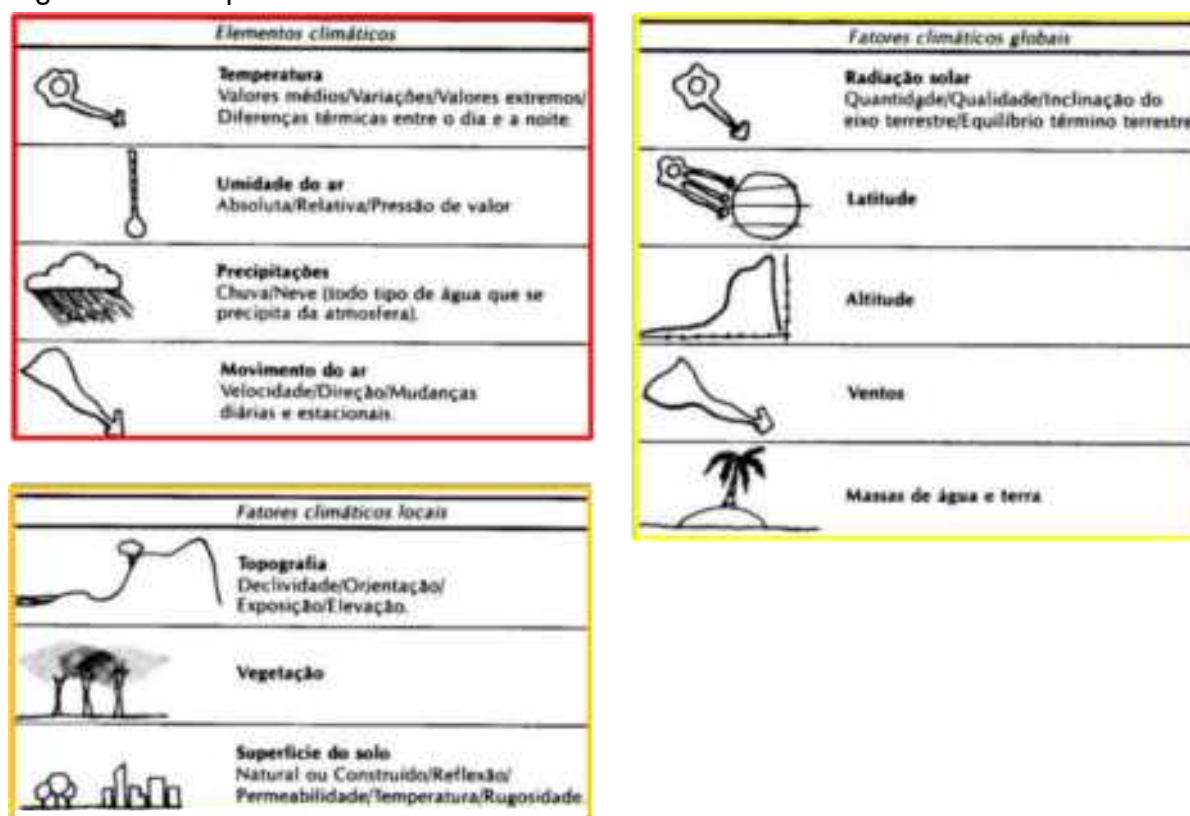
O processo de urbanização tem se intensificado nos últimos anos, principalmente em função do aumento populacional e pela demanda de território para acomodar as pessoas. A consequência do aumento de áreas urbanizadas, na maioria das vezes, resulta em locais com a paisagem natural modificada, na supressão de áreas verdes e permeáveis, na qualidade do ar e no estresse térmico (Silva; Silva, 2020). Esses fatores estão diretamente relacionados com a topografia, com a presença de vegetação e, também, com o uso e ocupação do solo, fatores que influenciam diretamente o microclima das cidades (Romero, 2011; Silva; Silva, 2020).

Barbirato, Souza e Torres (2007) apontam que o clima é o resultado da interação dinâmica entre fatores de escala global como a latitude, altitude e continentalidade, fatores locais como a topografia e uso do solo e elementos que caracterizam certa localidade como temperatura, umidade e a velocidade dos ventos. Dessa forma, expressa a integração dos estados físicos que são característicos de determinada região, evidenciando que não existem climas exatamente iguais.

Ainda na visão de Romero (2013), pode-se entender que os fatores de escala global vão condicionar e determinar os aspectos referentes ao clima em uma escala macro. Os fatores locais são determinantes para configurar o microclima de uma região ou clima em um ponto específico. Por fim, tem-se os elementos climáticos que caracterizam cada tipo de clima e permitem classificá-lo. Além disso, a autora salienta que “é absolutamente necessário que se tenha presente que todos os elementos e fatores atuam em conjunto, sendo que cada um deles é o resultado da conjugação dos demais” (Romero, 2013, p. 2). Os elementos e fatores climáticos são esquematizados na Figura 4.

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

Figura 4 – Componentes climáticos



Fonte: Romero, 2013, p. 2, modificado pelo autor, 2023.

Mendonça e Danni-Oliveira (2007) propõem que o clima pode ser subdividido em escalas, sendo elas a macroclimática, a mesoclimática e a microclimática, tendo em vista que essa última se preocupa com as interferências próximas à superfície ou em relação a pequenas áreas. Essa classificação proposta se mantém nos estudos sobre clima urbano desenvolvidos por Romero (2013) e também por Barbirato, Souza e Torres (2007). Nessa perspectiva, percebe-se que os fatores climáticos locais são diretamente responsáveis pela configuração do microclima de determinada região, como bairros ou ruas, porém, são influenciados pelos fatores globais e elementos climáticos (Barbirato; Souza; Torres, 2007).

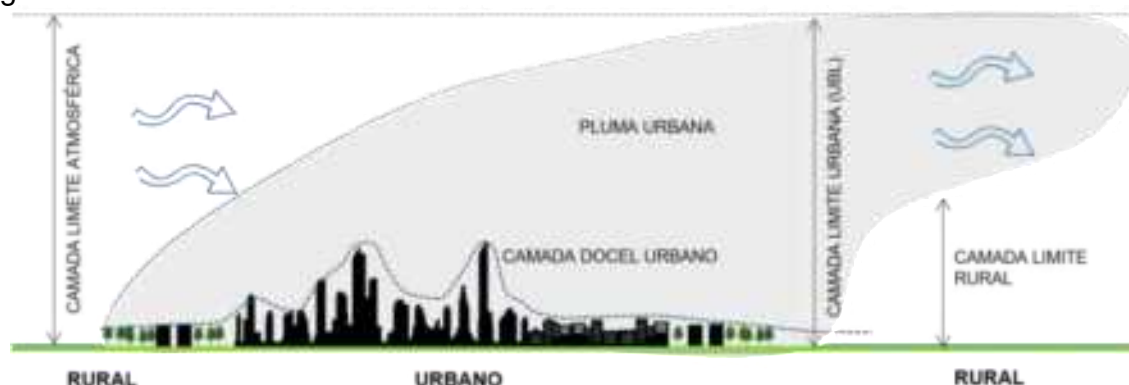
Oke *et al.* (2017) afirmam que o clima urbano se concentra na análise da interação entre a atmosfera e as áreas urbanas, considerando os efeitos que a atmosfera exerce sobre os habitantes, a infraestrutura e as cidades, bem como as implicações recíprocas dessa interação na atmosfera. Em termos gerais, o estudo do clima urbano visa compreender as complexas interações entre os processos meteorológicos e os fenômenos atmosféricos que ocorrem em regiões que foram urbanizadas.

Oke *et al.* (2017) mostram que a atmosfera pode ser subdividida verticalmente em camadas (Figura 5): a Atmospheric Boundary Layer (ABL), ou Camada Limite Atmosférica, a Urban Boundary Layer (UBL), ou Camada Limite Urbana, e a Urban Canopy Layer (UCL), ou Camada Dossel Urbano. A ABL localiza-se na parte mais baixa da atmosfera e possui por volta de 100 metros e 3000 metros de comprimento. Por ser próxima da superfície terrestre é fortemente influenciada pela rugosidade do tecido urbano e pelas trocas térmicas que acontecem nas cidades (Oke *et al.*, 2017).

A UBL, fenômeno de mesoescala, localiza-se acima do dossel e é modificada pela presença de assentamentos urbanos, nessa configuração, em função dos fluxos de vento, pode-se originar as chamadas plumas urbanas, encontradas acima da camada limite rural. A UCL, fenômeno de microescala, localiza-se entre o solo e os telhados dos edifícios, mais precisamente nos *Canyons Urbanos*<sup>1</sup>, sofrendo influência direta do entorno imediato (Oke *et al.*, 2017).

A UCL apresenta intensa transformação de energia e concentração de atividade humana sendo afetada diretamente pelos edifícios, tanto pela altura quanto pela superfície. Por ser um fenômeno de microescala, sua influência é dada no entorno imediato e tende a decair com a distância. Logo, o entendimento acerca da UCL é determinante para tomada de decisões relacionadas ao planejamento urbano das cidades (Oke *et al.*, 2017).

Figura 5 – Camadas verticais da atmosfera urbana.



Fonte: Oke *et al.*, 2017, elaborado pelo autor, 2023.

<sup>1</sup> O *Cânion Urbano* “é a estrutura formada pelo arranjo comum de uma rua e seus edifícios flanqueados. É mais claramente definido nas áreas centrais densamente construídas das cidades, mas sua forma básica geralmente ecoa na paisagem urbana. Sua forma geométrica é sua característica mais marcante. *Cânions* são descritos por sua seção transversal bidimensional, referido pela relação adimensional  $H = W$ , onde  $H$  é a altura dos edifícios adjacentes à rua e  $W$  é sua largura” (Oke *et al.* 2017, p. 19).

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

Na visão de Mills (2014), a Climatologia Urbana tem foco principal nas cidades e incorpora em seus estudos diversas ciências como a meteorologia, climatologia, engenharia e arquitetura. Além do mais, Mills (2014) afirma que, em função da interdisciplinaridade do tema, ainda é necessário que seja produzido um conhecimento unificado e coerente acerca do clima urbano, já que parte dos estudos ainda estão fragmentados.

Oke *et al.* (2017) demonstram que o microclima urbano pode ser entendido pelo balanço de energia que acontece no ambiente. Ainda, na visão de Duarte (2015):

O tecido urbano altera o balanço de energia introduzindo um termo de calor antropogênico e diminuindo o termo de calor latente. A forma como a energia é particionada afeta fortemente o microclima: a radiação solar pode ser usada para aquecer o solo ou evaporar a água, pode ser refletida para a atmosfera, e o saldo é usado para aquecer o ar. A proporção de energia usada em cada uma dessas funções irá afetar o microclima. Por exemplo, se o local é seco, a energia não vai ser usada para evaporar a água, portanto mais energia está disponível para aquecer superfícies e, consequentemente, o ar (Duarte, 2015, p. 27).

Dessa forma, as cidades, no seu processo de desenvolvimento, acabam alterando as configurações naturais de relevo, biodiversidade, regime hídrico e climático, fluxo de energia e nutrientes e resulta em um ecossistema completamente diferente e antropizado em relação ao original.

Assim, o clima de áreas urbanizadas e rurais não é o mesmo nem se torna homogêneo na área urbana, essas percepções e diferenciações podem ser visíveis a nível de bairros (Ferreira, 2019). Monteiro e Mendonça (2015) corroboram com essa afirmação, dizendo que a urbanização potencializa as modificações do clima em uma escala reduzida ou local em função da materialidade da cidade.

No geral, as cidades são feitas com materiais artificiais, estanques à água, rígidos e produzem espaços com pouca vegetação, induzindo ao acúmulo de calor e redução na evapotranspiração. Além disso, as próprias edificações causam impactos no microclima, como aumento na absorção de radiação e acréscimo da rugosidade do tecido urbano, impactando na velocidade dos ventos (Ferreira, 2019; Oke *et al.* 2017).

Nesse contexto, Amorim (2021) destaca que a rápida urbanização e as atividades humanas intensificam a formação de ilhas de calor nas cidades. A substituição da

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

vegetação por construções e a impermeabilização do solo alteram o balanço energético da superfície urbana.

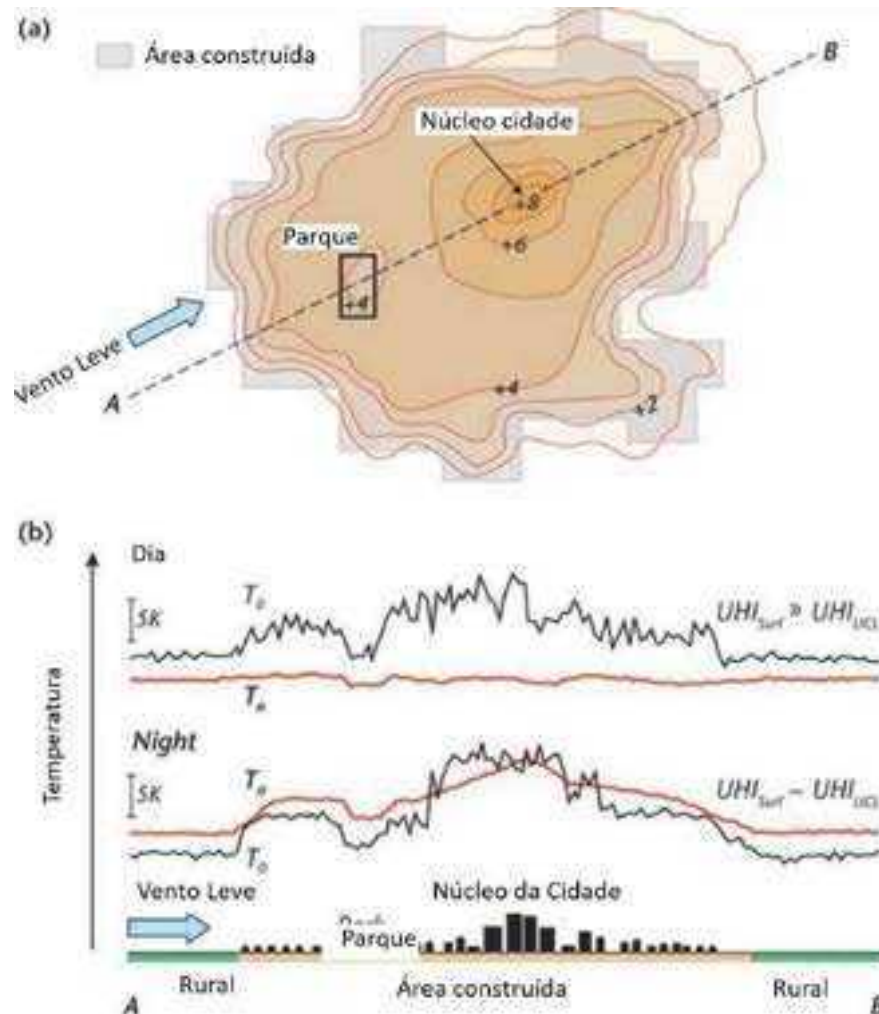
Essa alteração, combinada com o calor gerado por veículos, indústrias e sistemas de climatização, contribui significativamente para o aumento da temperatura nas áreas urbanas, criando microclimas mais quentes em comparação com as áreas rurais. As ilhas de calor possuem diversos impactos negativos na qualidade de vida da população, como aumento da poluição do ar, do desconforto térmico e dos riscos à saúde (Amorim, 2021).

Na visão da autora, as ilhas de calor atmosféricas podem ser definidas como bolsões de ar quente localizados no ambiente urbano originados em função do armazenamento e reflexão da energia solar da produção de calor antropogênico (Amorim, 2021) sendo considerada um fenômeno noturno (Ferreira, 2019; Barbirato; Souza; Torres, 2007).

Conforme aponta a literatura, a ilha de calor é um fenômeno urbano, noturno que se intensifica em locais densamente construídos e com a ausência de cobertura vegetal, na Figura 6 é mostrado o perfil da ilha de calor (Ferreira, 2019; Barbirato; Souza; Torres, 2007; Amorim, 2021; Oke et al. 2017; Fialho, 2012). Dentre os tipos de ICU, tem-se a Ilha de Calor Urbana de Superfície (ICUS) que é baseada na temperatura de superfície terrestre (Oke et al., 2017; Chang et al., 2023; Estoque; Murayama; Myint, 2017). Diversos fatores podem influenciar no surgimento das ICUS, dentre eles, a supressão de vegetação e espaços permeáveis; o aumento na impermeabilização do solo; os tipos de materiais construtivos e a morfologia urbana (Irfeey et al., 2023), fatores recorrentes em Colatina.

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

Figura 6 – Perfil esquemático da Ilha de Calor Urbana



Fonte: Oke *et al.* (2017), p. 200, tradução nossa.

Conforme apresentado, apesar de sofrer influência de fatores de escala global, o microclima urbano é diretamente afetado pelo processo de urbanização e pelos fatores climáticos locais. Dessa forma, entende-se que a cidade é um tecido diverso e impõe condições específicas de topografia, presença de vegetação, variedade de elementos construídos e diversidade de uso do solo, fatores que afetam diretamente o clima urbano.

Estudos apontam que a morfologia urbana influencia fortemente o microclima urbano (Debiazi; Souza, 2015; Amorim *et al.*, 2009; Duarte, 2015; Ferreira, 2019; Stone; Vargo; Habeeb; 2012, Oke *et al.*, 2017). À vista disso, e levando em consideração a importância dessa condicionante no ambiente urbano, o subcapítulo a seguir aborda a influência que a morfologia tem no microclima urbano.

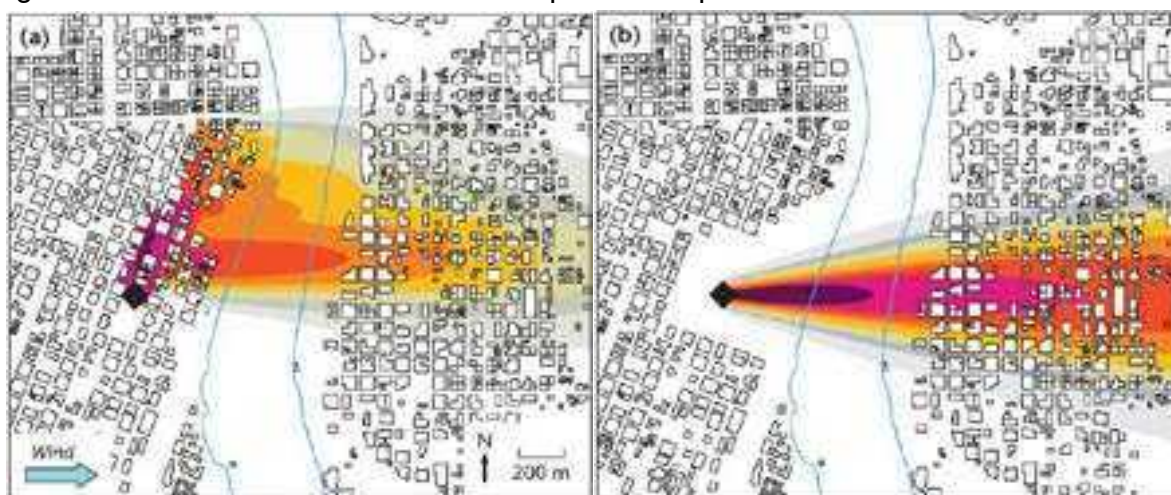
### 2.2.1 Morfologia Urbana e sua influência no Microclima Urbano

As cidades são caracterizadas pela mudança na paisagem natural e pela supressão da vegetação, dando lugar a um tecido urbano diverso, com áreas impermeáveis e caracterizado pela elevada densidade edificada. Essa associação de fatores, juntamente com a intensa atividade antrópica, contribui para que as temperaturas nas cidades sejam maiores que no campo (Romero, 2011).

Isso se dá principalmente pelos componentes construtivos presentes nas cidades, feitos majoritariamente de concreto, asfalto e outros elementos que retêm grande quantidade de calor. Além disso, a retirada da vegetação contribui significativamente para diminuição da evapotranspiração (Romero, 2011). Portanto, entende-se que o porte da estrutura urbana impacta diretamente no microclima, assim, à medida que seu tamanho aumenta, mais significativa será sua contribuição no armazenamento de calor e consequentemente na formação das ilhas de calor (Barbirato; Souza; Torres, 2007).

Nessa perspectiva, Oke *et al.* (2017) demonstram o aumento da poluição do ar e como isso pode influenciar no armazenamento de radiação. Além do que, o acúmulo de poluentes atmosféricos pode ser afetado em função da configuração espacial, geometria dos edifícios e da localização da fonte poluidora, conforme Figura 7.

Figura 7 – Influência dos edifícios na dispersão de poluentes.



Fonte hipotética de emissão de poluição com efeitos de edifícios próximos (a) e sem a presença de edifícios (b). Fonte: Oke *et al.*, 2017, p. 312, modificado pelo autor, 2023.

Conforme apresentado, a geometria urbana tem impacto direto na definição do microclima, dessa maneira, uma forma simplificada para representá-la é através dos

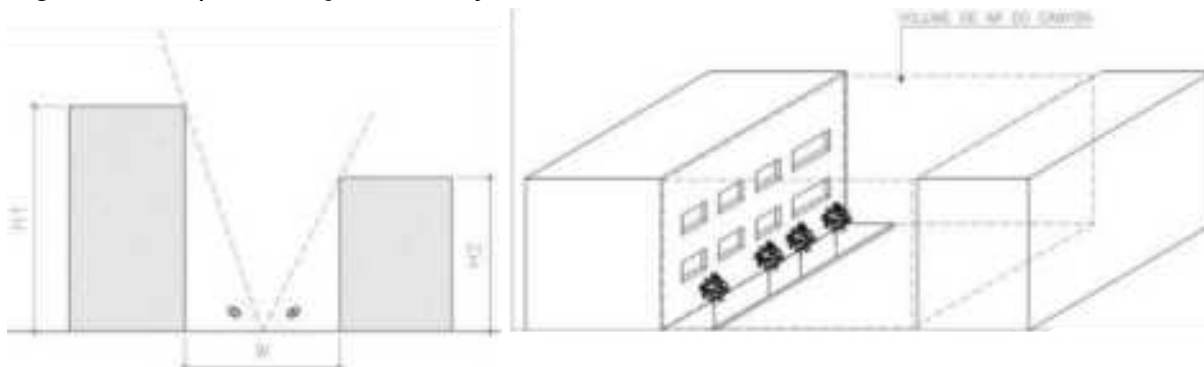
## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

*canyons urbanos*. Segundo Barbirato, Souza e Torres (2007), o *canyon* urbano é a principal camada intraurbana e abriga o volume do ar enclausurado pelas paredes dos edifícios e a rua, levando em conta as interações (trocas de calor e reflexões) entre superfícies construídas e o ar, conforme Figura 8.

Além disso, em função do fator H/W (Altura dos edifícios e largura da via, respectivamente), a quantidade de iluminação que chega nas ruas, ou edifícios, pode ser afetada, permitindo mais radiação ou sombreamento (Barbirato; Souza; Torres, 2007). Conforme Duarte (2015):

Os *canyons* urbanos restringem a visão da abóbada celeste, caracterizada pelo fator de visão de céu, causam múltiplas reflexões da radiação solar e geralmente restringem o movimento do ar. Por outro lado, em climas tropicais, edifícios em *canyons* urbanos podem se beneficiar do sombreamento mútuo (Duarte, 2015, p. 32).

Figura 8 – Representação do *canyon* urbano



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023, com base em Barbirato, Souza e Torres, 2007, p. 273.

Outro aspecto que merece atenção quando se fala em microclima é a mobilidade urbana. Grande parte das cidades brasileiras vivenciam o fenômeno da dispersão urbana<sup>1</sup>, que influencia o crescimento horizontal e a baixa densidade populacional, bem como pouco aproveitamento do potencial construtivo do terreno. Algumas consequências da dispersão urbana estão relacionadas com os deslocamentos a serem percorridos pela população e na utilização de veículos particulares, além do mais, gasta-se mais com infraestrutura urbana e emite-se muito mais gases de efeito estufa (Duarte, 2015).

<sup>1</sup> “[...] crescimento urbano que é desconcentrado, não denso e que deixa vazios urbanos dentro da mancha urbana (Nadalin; Igliori, 2015, p. 92).

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

O adensamento urbano é visto como uma prática fundamental para que as cidades cresçam de maneira ordenada e compacta. Adensar não significa tornar as localidades saturadas e insalubres para as pessoas, pois quando bem planejado, torna-se sinônimo de economia de infraestrutura e de energia, além de evitar explorar novas terras que poderiam estar prestando algum serviço ambiental, como regiões de matas e nascentes (Devecchi, 2014; Leite; Awad, 2012).

Conforme ressaltado pelo IPCC (2022), a mudança no uso e cobertura do solo influencia fortemente a emergência climática. No espaço urbano, essa mudança passa a gerar um território antropizado e muitas vezes distante de elementos naturais, como água e vegetação. Estudos mostram que a vegetação atua positivamente para proporcionar melhores condições microclimáticas por meio de sombreamento e evapotranspiração (Duarte, 2015; Barbirato; Souza; Torres, 2007; Ferreira, 2019; Lehmann, 2021).

Oke *et al.* (2017) apontam os benefícios da vegetação, destacando que seus efeitos estão diretamente relacionados com a disponibilidade de água, densidade foliar, tipo de folhas e galhos, o porte da vegetação e com sua localização. Além disso, o sombreamento provocado pelas árvores é extremamente benéfico pois bloqueia a radiação direta e diminui a temperatura de superfície. Outro benefício que a vegetação impõe é a evapotranspiração que proporciona o resfriamento do ar no entorno.

Percebe-se que quando se fala em microclima urbano a quantidade de variáveis que podem gerar interferência nesse sistema são grandes e muitas vezes complexas de lidar, quantificar e qualificar. As cidades, que por natureza são locais antropizados, influenciam intensamente o microclima, principalmente em decorrência da alteração do uso do solo. A urbanização emprega materiais que armazenam grande quantidade de radiação, muda o relevo e cria novas conformações espaciais que alteram a dinâmica dos ventos, das trocas gasosas e da passagem da luz. Além disso, altera de maneira muito expressiva a quantidade e disponibilidade de elementos naturais que poderiam contribuir para a melhoria do microclima urbano, como a presença de corpos d'água e massas vegetadas.

Tendo isso em vista, a escala e o desenho pensado para a cidade podem influenciar diretamente no microclima, e isso pode ser verificado nas dimensões utilizadas em

## 2. EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E CLIMA URBANO: PERSPECTIVAS TEÓRICAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

quadras, ruas e nas distâncias a serem percorridas para realizar diferentes tarefas do cotidiano (Duarte, 2015; Duarte *et al.*, 2015). Nessa perspectiva, o pensamento sistêmico ao planejar as cidades deve ser prioritário, levando em consideração que ela sofre influência de diversos agentes. Portanto, aliar planejamento urbano, planejamento ambiental e desenho urbano com os estudos microclimáticos tende a contribuir para que as cidades se desenvolvam de maneira mais resiliente e energeticamente sustentáveis.

Adiante, no capítulo 3, serão discutidos os procedimentos metodológicos empregados nessa pesquisa para analisar as variáveis de estudo.

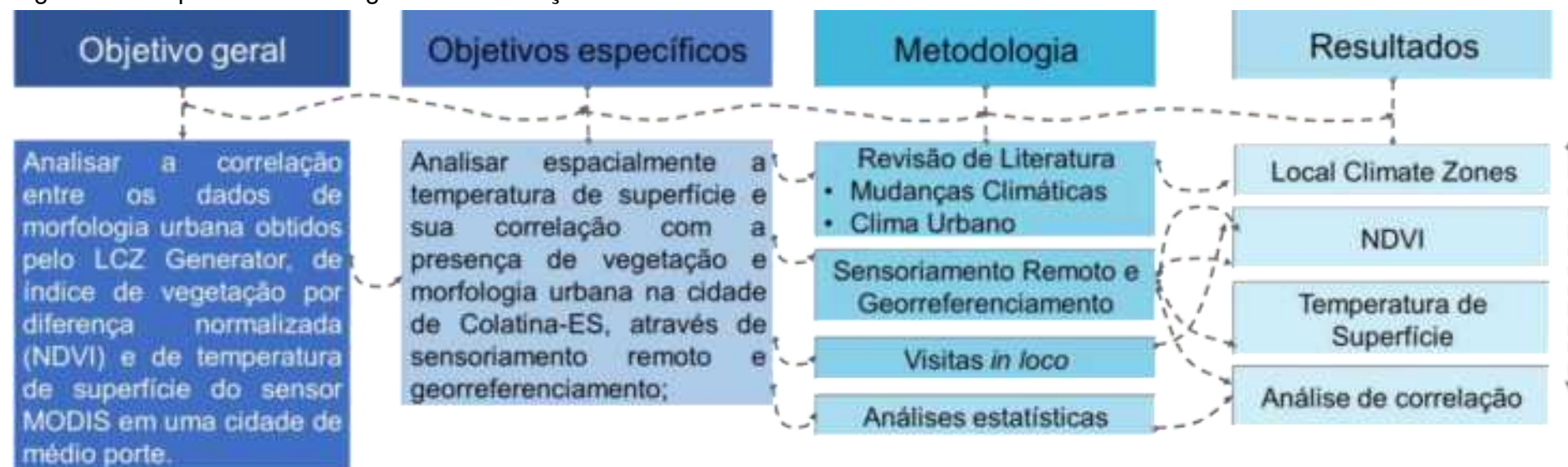


### 3. METODOLOGIA

## 3 METODOLOGIA

Esse capítulo trata sobre os procedimentos metodológicos que são adotados na dissertação. Tendo isso em vista, elaborou-se o esquema metodológico, conforme Figura 9, para facilitar o entendimento do fluxo das etapas de trabalho, encadeando visualmente os objetivos, geral e específico, metodologia e resultados.

Figura 9 – Esquema metodológico da dissertação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

### 3. METODOLOGIA

Segundo Gil (2017), esta pesquisa se configura como aplicada quanto à sua finalidade, ou seja, irá gerar um conhecimento específico em relação a uma situação ou problema. Quanto aos seus objetivos, pode ser classificada como pesquisa exploratória (permite maior aproximação com o problema de pesquisa) e pesquisa descritiva (descreve as características de determinado fenômeno). Ainda, segundo seus procedimentos técnicos, é uma pesquisa bibliográfica (fontes existentes de cunho científico) e estudo de caso (analisa um fenômeno e produz conhecimento sobre os fatores que o influenciam).

Tendo isso em vista, a metodologia consiste, inicialmente, em revisão de literatura sobre a temática abordada no referencial teórico, envolvendo a emergência climática e o clima urbano. As referências foram artigos, nacionais e internacionais, encontrados em bases de dados como a *ScienceDirect*, *SciELO* e *Scopus*. Também foram consultados o Google Scholar e anais de eventos, bem como teses de doutorado e de livre docência que estão disponibilizadas nos repositórios das universidades.

Para a aquisição de informações, optou-se pela utilização de dados abertos, disponíveis no Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES), na Prefeitura Municipal de Colatina (PMC), no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), bem com imagens de satélite disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS).

Os *softwares* adotados são livres ou possuem versão educacional, possibilitando a replicação da metodologia de maneira mais acessível. Foram utilizados os *softwares*: AutoCAD 2023, versão educacional, para elaboração de desenhos assistidos por computador; Qgis 3.22.7, para a elaboração de mapeamentos, processamentos de dados e imagens de satélites; *Google Earth Pro* para aquisição de imagens e definição das “áreas de treinamento” para identificação das *Local climate zones* (LCZs).

Levando em consideração o **objetivo geral** de analisar espacialmente a temperatura de superfície e sua correlação com a vegetação e morfologia urbana em uma cidade de médio porte, foram estabelecidas, através da revisão de literatura, as variáveis específicas deste trabalho, sendo elas a temperatura de superfície, o NDVI e a morfologia urbana.

### 3. METODOLOGIA

Com o intuito de avaliar o impacto da vegetação e da morfologia urbana, este trabalho optou pela temperatura de superfície, conforme orientado por Ferreira (2019) e Ferreira e Duarte (2019). A justificativa para essa escolha se dá principalmente pela possibilidade de utilizar o sensoriamento remoto como ferramenta de análise; por possuir boa correlação com diferentes usos do solo, além de possibilitar estudar áreas de grandes dimensões (Ferreira, 2019).

Na visão de Voogt e Oke (2003), a temperatura de superfície tem grande importância para os estudos de climatologia urbana, pois modula a temperatura do ar nas camadas mais baixas da atmosfera no ambiente urbano, interfere no balanço de energia superficial e afeta o clima interno dos edifícios. Em resumo, está diretamente relacionada com processos que podem impactar, positiva ou negativamente, o bem estar social.

Para realizar as análises de morfologia urbana, utilizou-se o sistema de classificação de Zonas Climáticas Locais proposto por Stewart e Oke (2012). O sistema realiza a classificação da paisagem em zonas climáticas locais, fugindo do binômio urbano-rural. Na visão dos autores, “os termos urbano e rural, por si só, não podem descrever suficientemente um terreno ou a sua envolvente local” (Stewart; Oke, 2012, p. 1880).

O sistema fornece uma classificação dividida em duas categorias – áreas construídas e não construídas – resultando em uma combinação de 17 zonas na escala local. São definidas pelos autores como “regiões de cobertura de superfície, estrutura, material e atividades humanas uniformes que abrangem centenas de metros a vários quilômetros em escala horizontal” (Stewart; Oke, 2012, p. 1884).

Ferreira (2019) apontava que a utilização das LCZs vinha crescendo na comunidade científica sendo utilizada pelos climatologistas e geógrafos. Demuzere, Kittner e Bechtel (2021) mostram a importância das Zonas Climáticas Locais como um padrão a ser adotado para classificar as paisagens urbanas e rurais. Para a classificação, é recomendável realizar visitas *in loco*, analisar imagens de satélite e também por meio do Google *Street View*, além de seguir as etapas metodológicas descritas adiante neste capítulo.

### 3. METODOLOGIA

Nesta pesquisa, em função da adoção do sensoriamento remoto e georreferenciamento como ferramentas de análise e, também, conforme as outras variáveis específicas, utilizou-se o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, em português, para verificar a presença de vegetação.

Esse índice se baseia no comportamento espectral que a vegetação apresenta em função da refletância da radiação eletromagnética, avaliando qualitativamente e quantitativamente a vegetação (Ferreira, 2019; Pessi *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2021; Ferreira; Duarte, 2019). O valor de NDVI varia de -1 a +1, sendo que quanto mais próximo de +1 mais saudável e mais fotossinteticamente ativa está a vegetação, do mesmo modo que, quanto mais próximo a -1 menos saudável está a vegetação.

A seguir, é apresentado o recorte territorial onde foi realizada a pesquisa, bem como a justificativa para a escolha do sensor MODIS para a aquisição das imagens provenientes do sensoriamento remoto.

#### 3.1 RECORTE TERRITORIAL

Para a realização desta pesquisa, tomou-se como objeto o município de Colatina-ES, delimitando-se dois recortes de interesse, ou seja, o perímetro urbano e a área urbanizada. Optou-se por esse município em função de sua importância regional, sendo um polo econômico para seus vizinhos e por sua importância para a região noroeste do estado.

Conforme apontam documentos mais antigos (Instituto Jones dos Santos Neves, 1982a; Instituto Jones dos Santos Neves, 1982b) e estudos mais recentes (Amorim *et al.*, 2020; Coelho, 2009; Simões; Mendonça, 2015; Oliveira, 2023; Oliveira; Bonatto, 2022; Oliveira; Simões; Bonatto, 2022), o processo de urbanização da cidade gerou fragilidades no tecido urbano como desmatamento, dispersão urbana, formação de ilhas de calor, deslizamentos de terra e alagamentos, dentre outras consequências que afetam diretamente a população.

#### 3.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Para a aquisição de imagens provenientes do sensoriamento remoto e sua utilização para o cálculo da temperatura de superfície, diurna e noturna, e NDVI optou-se pelo

### 3. METODOLOGIA

sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Esse sensor opera nos satélites Terra e Aqua e rastreia toda a superfície terrestre diariamente, medindo um total de 36 bandas espectrais que variam de 0,405 e 14,385  $\mu\text{m}$  com três resoluções espaciais (250 metros, 500 metros e 1000 metros).

Optou-se por utilizar os dados do satélite Aqua em função de seu horário de passagem diurno e noturno (13h30 e 1h30) ser próximo aos pontos de máxima e mínima temperatura superficial (Ferreira; Duarte, 2019; Pires; Veloso, 2019). Adicionalmente, esse sensor fornece dados para o cálculo da temperatura superficial diurna e noturna (Flores; Pereira Filho; Karam, 2016), levando em consideração que ilha de calor urbana é um fenômeno urbano e noturno.

Conforme Ahmed *et al.* (2023) apresentam, os dados do sensor MODIS são os mais comuns na literatura especializada tendo a temperatura de superfície como foco das análises. Observa-se, ainda, que alguns estudos estão relacionados com a vegetação, precipitação e componentes do balanço hídrico. Indo ao encontro do recorte territorial desta pesquisa, os estudos também são concentrados nas cidades tendo como foco o estudo da ilha de calor, expansão urbana e mudança na cobertura da terra.

Os pesquisadores utilizam os dados do MODIS com a resolução espacial de um quilômetro, em alguns casos, realizam processamentos para melhorá-la (Ahmed *et al.*, 2023). Nesta Pesquisa, os dados de NDVI e LST são específicos de um recorte temporal em função do tempo para se processar e analisar os dados. Para o NDVI, a imagem utilizada é referente ao período do dia 17 de maio de 2023 até o dia 1 de junho de 2023, totalizando 16 dias.

A imagem utilizada para analisar a LST é referente ao período de 10 de junho de 2023 ao dia 17 de junho de 2023, totalizando 8 dias. As imagens do sensor MODIS foram adquiridas gratuitamente através da plataforma *EarthExplorer*<sup>1</sup> em datas com menor nebulosidade e maior integridade dos dados, otimizando a qualidade das análises subsequentes. Levando o exposto em consideração, a estação seca foi o período utilizado nesta pesquisa.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

### 3. METODOLOGIA

#### 3.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

A seguir, são apresentados os procedimentos para a obtenção e tratamento das variáveis específicas da pesquisa.

##### 3.3.1 Local Climate Zones (LCZs)

O sistema de Zonas Climáticas locais foi desenvolvido por Stewart e Oke (2012) visando estabelecer uma conexão entre os impactos que a urbanização produz na paisagem da cidade e seus rebatimentos no microclima urbano. Além disso, surge como uma padronização de informações acerca do microclima, levando em consideração as interações específicas que o tecido urbano impõe, como calor antropogênico, forma urbana, densidade construída, dentre outros, estabelecendo um sistema que pode ser difundido globalmente (Borges *et al.*, 2022; Stewart; Oke, 2012). No Quadro 1, são mostradas as LCZs, com suas respectivas tipologias construtivas e definições.

Quadro 1 – Local Climate Zones (LCZ), Tipologias construtivas e definições

(continua)

| Tipologia Construtiva                                                                                               | Definição                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LCZ 1: Alto-compacto</b><br>  | Mistura densa de edifícios altos com dezenas de andares. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo majoritariamente pavimentado. Materiais de construção em concreto, aço, pedra e vidro.                     |
| <b>LCZ 2: Médio-compacto</b><br> | Mistura densa de edifícios de altura média (3-9 andares). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo majoritariamente impermeável. Materiais de construção em pedra, concreto, materiais cerâmicos e concreto. |
| <b>LCZ 3: Baixo-compacto</b><br> | Mistura densa de edifícios baixos (1-3 andares). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo majoritariamente impermeável. Materiais de construção em concreto, pedras, tijolos e materiais cerâmicos.          |
| <b>LCZ 4: Alto-aberto</b><br>    | Edifícios altos em arranjo aberto com dezenas de pavimentos. Abundância de cobertura permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção em concreto, aço, pedras e vidros.                 |
| <b>LCZ 5: Médio-aberto</b><br>   | Arranjo aberto de edifícios de altura média (3-9 andares). Abundância de cobertura permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção em concreto, aço, pedras e vidros.                   |
| <b>LCZ 6: Baixo-aberto</b><br>   | Arranjo aberto de edifícios baixos (1-3 andares). Abundância de cobertura vegetal (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção em concreto, pedras, tijolos, madeira e materiais cerâmicos.    |

## 3. METODOLOGIA

(conclusão)

|                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LCZ 7: Baixo-precário</b><br>              | <b>Densa mistura de edifícios de um só pavimento. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo majoritariamente de terra batida, compactada. Materiais de construção leves, madeira, palha e metal corrugado.</b> |
| <b>LCZ 8: Baixo-grande</b><br>                | Disposição aberta de grandes edifícios de baixa altura (1-3 andares). Pouca ou nenhuma vegetação. A cobertura do solo é majoritariamente impermeável. Materiais de construção em aço, concreto, metal ou pedra. |
| <b>LCZ 9: Ocupação esparsa</b><br>            | Disposição esparsa de edifícios de pequena ou média altura em ambientes naturais. Abundância de áreas permeáveis (plantas baixas, árvores dispersas).                                                           |
| <b>LCZ 10: Indústria pesada</b><br>           | Estruturas industriais de baixa e média altura (torres, tanques, pilhas). Poucas árvores. Cobertura do solo majoritariamente pavimentada ou compacta. Materiais de construção em aço, concreto ou metal.        |
| <b>LCZ A: Vegetação arbórea densa</b><br>     | Paisagem fortemente arborizada com vegetação arbórea decídua e/ou perene. Cobertura do solo majoritariamente permeável (plantas baixas). Florestas naturais ou cultivadas, parques urbanos.                     |
| <b>LCZ B: Vegetação arbórea esparsa</b><br> | Paisagem ligeiramente arborizada com vegetação arbórea esparsa decídua e/ou perene. Cobertura do solo majoritariamente permeável (plantas baixas). Florestas naturais ou cultivadas, parques urbanos.           |
| <b>LCZ C: Vegetação arbustiva</b><br>       | Arranjo aberto de arbustos, árvores curtas e lenhosas. Cobertura do solo majoritariamente permeável (solo exposto ou areia). Áreas arbustivas naturais ou áreas de cultivo agrícola.                            |
| <b>LCZ D: Vegetação herbácea</b><br>        | Paisagem coberta por vegetação herbácea com poucas árvores. Pastagens naturais ou cultivadas, áreas agrícolas ou parques urbanos.                                                                               |
| <b>LCZ E: Rocha ou pavimento</b><br>        | Paisagem cobertas por rochas ou pavimentos impermeáveis. Pouca ou nenhuma vegetação. Rochas expostas e áreas destinadas a transporte.                                                                           |
| <b>LCZ F: Solo exposto</b><br>              | Paisagem cobertas com solo ou areia. Pouca ou nenhuma árvore. Desertos ou áreas agrícolas.                                                                                                                      |
| <b>LCZ G. Água</b><br>                      | Grandes massas de água, como mares e lagos, ou pequenas massas de água como rios, reservatórios e lagoas.                                                                                                       |

Fonte: Stewart e Oke, 2012, p. 1885, adaptado pelo autor, tradução nossa, 2023.

De acordo com Ferreira (2019) existem diferentes métodos para mapear as Zonas Climáticas locais, indo desde um mapeamento manual à classificação automática. Uma metodologia bastante difundida foi proposta por Bechtel *et al.* (2015), onde os mapas LCZs eram gerados por meio de classificação automática de imagens obtidas de

### 3. METODOLOGIA

satélites. Assim, eram elaboradas áreas de treinamento, que o usuário delimitava no *software Google Earth Pro*, escolhendo no mínimo cinco amostras (superior a 100m<sup>2</sup>) de cada *Local Climate Zones* com base em Stewart e Oke (2012). Por fim, através do *software SAGA GIS*, realizava-se o mapa de LCZs por meio do classificador *Local Climate Zones Classification*. Ressalta-se que esse método foi adotado pelo *World Urban Database and Access Portal Tool (WUDAPT)*.

O *WUDAPT* consiste em um esforço internacional que visa agregar dados e informações sobre áreas urbanas com base na descrição da paisagem urbana em LCZs. Na sua concepção, “[...] fornece um fluxo de trabalho fácil de entender; usa dados e *software* disponíveis gratuitamente e pode ser aplicado por alguém sem conhecimento especializado em análise espacial ou ciência do clima urbano” (Bechtel *et al.*, 2015, p. 200).

Segundo o site do *WUDAPT*, atualmente o *LCZ Generator* é o método padrão para realizar a classificação das cidades em LCZs. Mesmo com o método atual, o site disponibiliza instruções para seguir o método mais antigo, porém, não dá suporte para eventuais dúvidas no processo de classificação (*World Urban Data Base And Access Portal Tools*, 2023). Em função disso, o processo de classificação adotado nesta pesquisa foi a ferramenta *online LCZ Generator*. Através do site do *WUDAPT* (<https://www.WUDAPT.org/create-LCZ-classification/>) é possível acessar a plataforma online do *LCZ Generator* (ou Gerador LCZ, em português).

Ao acessar o site<sup>1</sup> da ferramenta, a página inicial (Figura 10) exibe uma sequência de etapas para a criação das LCZs. Inicia-se com a leitura do artigo de autoria de Demuzere, Kittner e Bechtel (2021) que desenvolveram a metodologia do *LCZ Generator*. Conforme os autores apresentam:

O aplicativo da web LCZ Generator descrito aqui simplifica ainda mais o processo, pois fornece uma plataforma online que mapeia uma cidade de interesse em LCZs, esperando apenas um arquivo de área de treinamento válido e alguns metadados como entrada. O aplicativo [...] fornece uma avaliação de precisão automatizada, derivados de dados de áreas de treinamento e uma nova abordagem para identificar áreas de treinamento suspeitas (Demuzere; Kittner; Bechtel, 2021, p. 2).

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://LCZ-generator.rub.de/>

### 3. METODOLOGIA

Figura 10 – Página inicial do *LCZ Generator* com instruções



Fonte: Demuzere, Kittner e Bechtel (2021).

Essa metodologia requer alguns dados de entrada para mapear automaticamente a cidade de interesse em *LCZs*. Esses dados são constituídos de áreas de treinamento (AT) feitas com auxílio do *Google Earth Pro*. Além desses dados, são necessárias informações pessoais e adicionais que são solicitadas na página do *LCZ Generator*. Uma das etapas mais importantes nesse processo é o fornecimento das áreas de treinamento. O site do *LCZ Generator* e *WUDAPT* fornecem instruções e orientações de como coletá-las da melhor forma (Quadro 2).

A classificação da paisagem em *LCZ* requer inicialmente o conhecimento prévio das zonas climáticas locais propostas no artigo de Stewart e Oke (2012). Além disso, em sua tese de doutorado, o Dr. Iain Douglas Stewart desenvolveu fichas com dados e informações que ajudam a classificar as áreas de treinamento em *LCZ* com base em parâmetros estabelecidos (*World Urban Database and Access Portal Tools*, 2023).

Recomenda-se que as áreas de treinamento possuam tipologias homogêneas, tendo dimensão mínima de 200 metros no ponto mais estreito, levando em consideração a escala local. Ademais, deve-se deixar um espaçamento entre as ATs de aproximadamente 100 metros para que não haja interferência no processamento dos dados. A quantidade de ATs recomendada é de 5 a 15 para cada *LCZ*, isso ajuda na classificação automática, pois uma mesma classe pode ser influenciada por aspectos sazonais, como cheias e as estações do ano, ou variações de aspectos construtivos, como cores de telhados e materiais de construção (*World Urban Database and Access Portal Tools*, 2023).

### 3. METODOLOGIA

Recomenda-se conhecer as áreas de treinamento por meio de visitas no local, através de fotografias, com uso do *Streetview* e por meio de imagens georreferenciadas. Deve-se evitar locais com características efêmeras, ou seja, que não são definitivas, como canteiros de obras, praias e terras agrícolas.

Quadro 2 – Orientação para criação das áreas de treinamento.

(continua)

| Propriedade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Exemplos                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tamanho</b><br>Pensar na escala local. Edifícios individuais não constituem uma <i>LCZ</i> . Procure grandes áreas homogêneas com no mínimo 200 m de largura no ponto mais estreito. Use a ferramenta de medição do Google Earth para garantir que a área seja grande o suficiente.                                                                                                                                                                                                                                |    |
| <b>Forma</b><br>Evite formas complexas, pois isso pode levar a informações espectrais misturadas. No entanto, formas de blocos simples maximizarão a homogeneidade da informação espectral e o número de pixels de satélite disponíveis dentro da forma.                                                                                                                                                                                                                                                              |   |
| <b>Homogeneidade</b><br>Se você digitalizar uma área de treinamento, as características da superfície devem ser semelhantes. Em caso de dúvida, é melhor digitalizar diferentes áreas de treinamento homogêneas do que uma área muito heterogênea.                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
| <b>Fronteiras   Distância</b><br>Tente manter uma distância mínima de outras <i>LCZs</i> ao classificar. Se polígonos de diferentes classes estiverem muito próximos uns dos outros, o classificador receberá sinais espectrais mistos que afetarão a qualidade da classificação. Da mesma forma, não digitalize sua área de treinamento muito perto de outras coberturas de terra. Além disso, evite a digitalização precisa ao longo de segmentos de estradas ou rios, recursos que geralmente são muito estreitos. |  |

### 3. METODOLOGIA

(conclusão)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Persistência   Sazonalidade</b></p> <p>Evite canteiros de obras, pois é provável que mudem de tipo de <i>LCZ</i> durante um curto período de tempo. As características da superfície de alguns tipos de <i>LCZ</i> podem depender da sazonalidade. As áreas agrícolas (<i>LCZ D</i>, culturas) são um exemplo típico, onde a cobertura da terra pode mudar de solo nu para terra cultivada ao longo do ano. Use o controle deslizante de tempo do Google Earth para explorar a sazonalidade. Tenha em mente a sazonalidade das águas das marés. Dependendo da hora do dia ou da estação do ano, as linhas costeiras ou os leitos dos rios podem estar secos ou conter água.</p> |   |
| <p><b>Distribuição espacial</b></p> <p>Distribua as áreas de treinamento em toda a região de interesse, pois a mesma <i>LCZ</i> pode diferir em sua aparência e propriedades espectrais para diferentes partes de sua região de interesse.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |

Fonte: *World Urban Database and Access Portal Tools*, 2023, n.p. Modificado pelo autor (2023), tradução nossa.

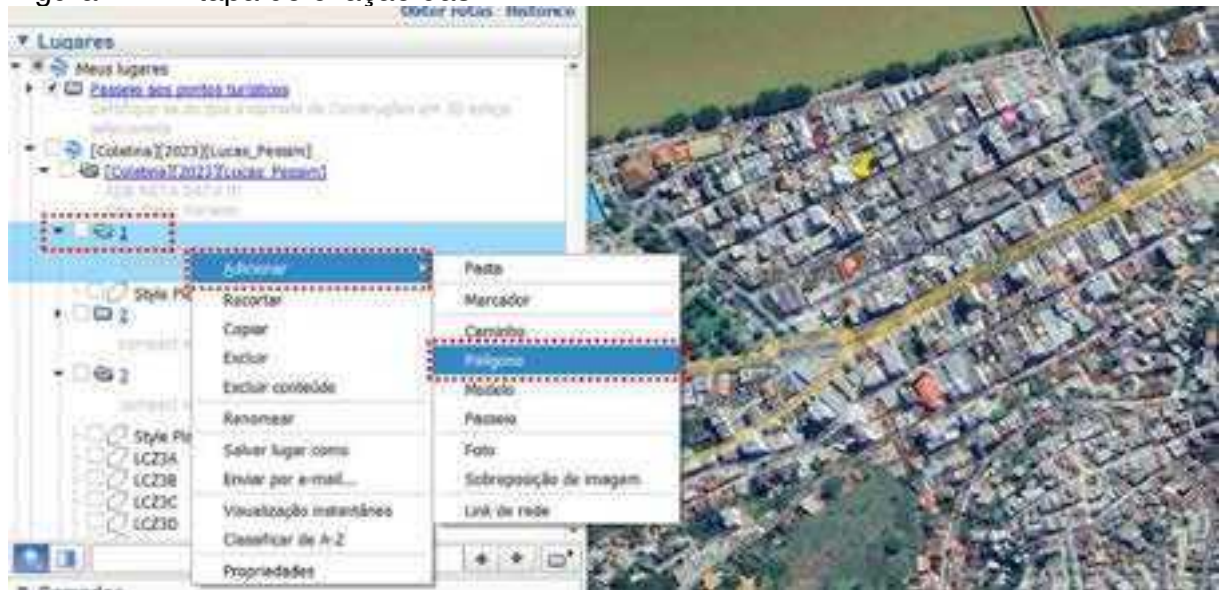
Diante dessas informações inicia-se o processo de criação das ATs. Primeiramente, é necessário realizar o *download* do arquivo *template .kml*<sup>1</sup> do modelo de área de treinamento que será inserido no *Google Earth Pro*. Em seguida, cada área de treinamento será inserida em sua subpasta específica (cada *LCZ* possui uma), sempre se atentando às dimensões mínimas recomendadas.

Ao iniciar o *software Google Earth Pro*, já de posse do *template*, é criada a Região de Interesse (*Region of Interest*, no original), uma região poligonal que engloba as áreas de treinamento, com um *buffer* adicional de dez quilômetros (Demuzere; Kittner; Bechtel, 2021). Em seguida, deve-se criar os polígonos das ATs. Basta clicar com o botão direito do *mouse* sobre a classe que se deseja classificar, selecionar a ferramenta **Adicionar** → **Polígono**, e realizar a marcação da ATs (Figura 11). Em seguida, deve-se fornecer um nome, por exemplo, *LCZ1a*, representando o primeiro polígono dessa classe. Repete-se o procedimento até que a quantidade pretendida de ATs seja alcançada.

<sup>1</sup> Disponibilizado tanto no site do *WUDAPT* quanto no site do *LCZ Generator*. ([https://www.WUDAPT.org/wp-content/uploads/2020/08/WUDAPT\\_L0\\_Training\\_template.kml](https://www.WUDAPT.org/wp-content/uploads/2020/08/WUDAPT_L0_Training_template.kml)).

### 3. METODOLOGIA

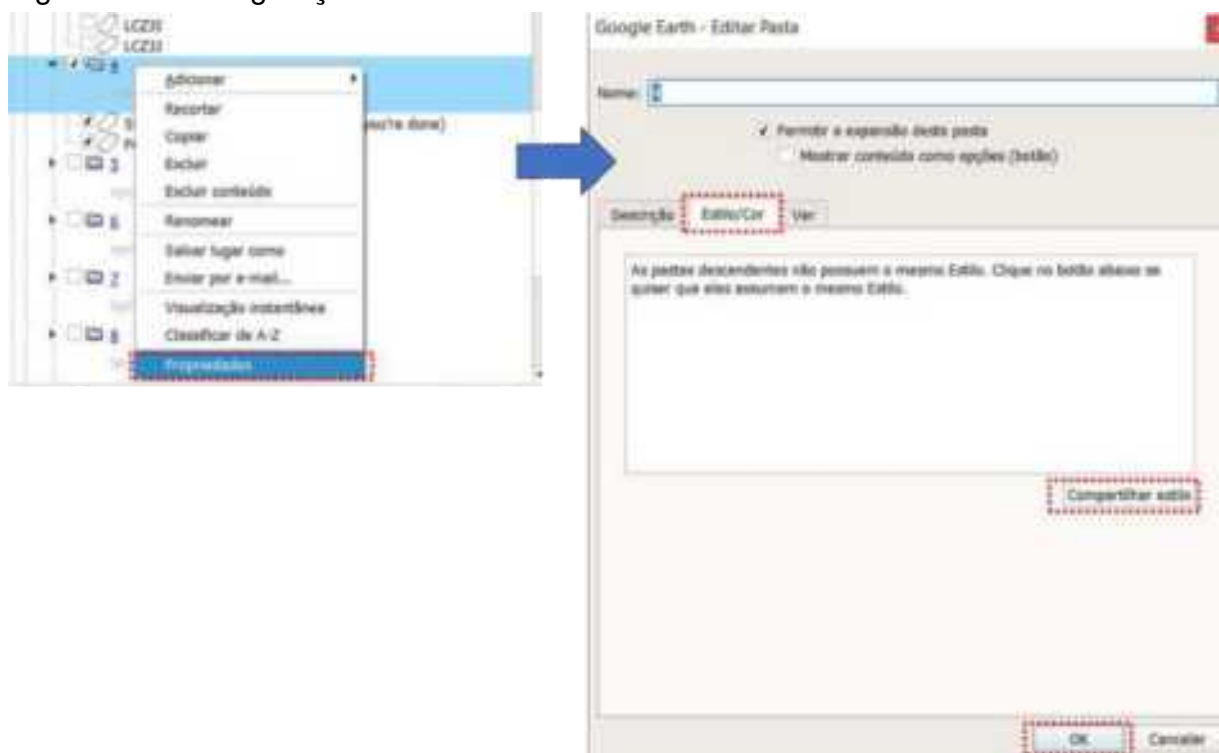
Figura 11 – Etapa de criação das AT



Fonte: Google Earth Pro, 2023.

Em seguida, quando todas as ATs forem criadas, as configurações de estilo do polígono devem ser alteradas para o estilo de cada LCZ (Figura 12). Para isso, deve-se clicar com o botão direito do *mouse* na pasta LCZ, selecionar **Propriedades** → **Estilo/Cor** → **Compartilhar estilo**. Ao finalizar o processo, na pasta LCZ, deve-se apagar o arquivo “Espaço reservado de estilo (exclua-me quando terminar)”.

Figura 12 – Configuração do estilo da LCZ



Fonte: Google Earth Pro, 2023.

### 3. METODOLOGIA

Após concluído o processo de criação das ATs, deve-se preencher o formulário de envio, com informações pessoais e adicionais, juntamente com o arquivo *.kmz* feito no *Google Earth Pro*. Ao enviar o formulário, o site informa se o envio foi feito corretamente ou alerta o surgimento de uma falha fornecendo as instruções de como resolver a situação. Uma notificação é enviada ao e-mail cadastrado assim que o processamento é concluído, podendo demorar aproximadamente 20 minutos, dependendo da demanda que o sistema possuir (Demuzere, Kittner E Bechtel; 2021). Os dados de saída após a classificação estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3 – Dados de saída do *LCZ Generator*

| Dado de Saída                       | Formato |
|-------------------------------------|---------|
| Endereço online dos resultados      | .html   |
| Mapeamento <i>LCZ</i>               | .tif    |
| Frequência das Áreas de Treinamento | .png    |
| Matriz de confusão                  | .csv    |
| Áreas de Treinamento submetidas     | .kml    |
| Boxplots de acurácia                | .jpg    |
| Mapa <i>LCZ</i>                     | .jpg    |
| Estatísticas Áreas de Treinamento   | .csv    |
| Áreas de Treinamento suspeitas      | .sho    |

Fonte: Demuzere, Kittner e Bechtel (2021). Organizado pelo autor (2024).

De posse dos dados gerados pelo *LCZ Generator*, inicia-se a verificação do mapa no intuito de identificar possíveis classificações errôneas. Levando isso em consideração, optou-se nesta pesquisa por utilizar o processo de reclassificação manual, conforme descrito por Werneck (2022). Dessa forma, é possível corrigir as classes e verificar a necessidade de acrescentar novas zonas que eventualmente não puderam ser classificadas anteriormente.

Inicialmente, a imagem raster no formato *.tif* deve ser inserida no *software* QGIS. Realiza-se sua conversão para um arquivo vetorial usando a ferramenta nativa "*Raster para Vetor (Poligonizar)*". No campo "Número da banda", seleciona-se a opção "*LCZFilter*" e executa-se o processo. Como a área de estudo desta pesquisa é o perímetro urbano, deve-se realizar o recorte da figura. Em seguida, a simbologia do arquivo vetorial deve ser alterada para "Categorizado", definindo o filtro referente às *LCZs*. Por fim, realiza-se a classificação. Observa-se que as cores das *LCZs* não são as mesmas utilizadas na literatura, para corrigir isso, basta utilizar o mapa de cor com o código RGB de cada classe disponibilizado nos dados de saída do *LCZ Generator*.

### 3. METODOLOGIA

Em seguida, inicia-se as análises comparativas entre o mapa de *LCZ* e imagens de satélite para encontrar as áreas classificadas incorretamente. Por fim, tendo esse amparo, realiza-se a edição das *LCZs* alterando os vértices dos polígonos e construindo a nova geometria correspondente à classe correta.

#### 3.3.2 Temperatura de superfície

Para o cálculo da temperatura de superfície, foram adquiridas gratuitamente as bandas do sensor MODIS, disponibilizadas no site *Earth Data* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). O produto utilizado foi o MYD11A2 v061 (MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1 km SIN Grid). Ressalta-se que, conforme Ribeiro *et al.* (2009) e Arai (2011) apresentam, as imagens adquiridas possuem formato HDF e projeção Sinusoidal, sendo necessário, para seu tratamento no Qgis, converter o formato para *.GeoTIFF* e reprojetar as imagens para o sistema UTM e para o datum planimétrico WGS84. Realiza-se a o reescalonamento da imagem e a conversão dos valores de temperatura de superfície para °C através da calculadora raster dos Qgis, seguindo a fórmula:

$$TST = (DN * F) - 273,15 \quad (1)$$

Onde: TST é a temperatura de superfície em graus Celsius; DN é *Digital number* ou valor original do pixel (representado pela banda do sensor MODIS); F é o fator de conversão (0,02). Além do mais, a fim de realizar a comparação com o mapa de *LCZ*, necessita-se realizar uma reamostragem da resolução espacial das imagens (Ferreira; Duarte, 2019).

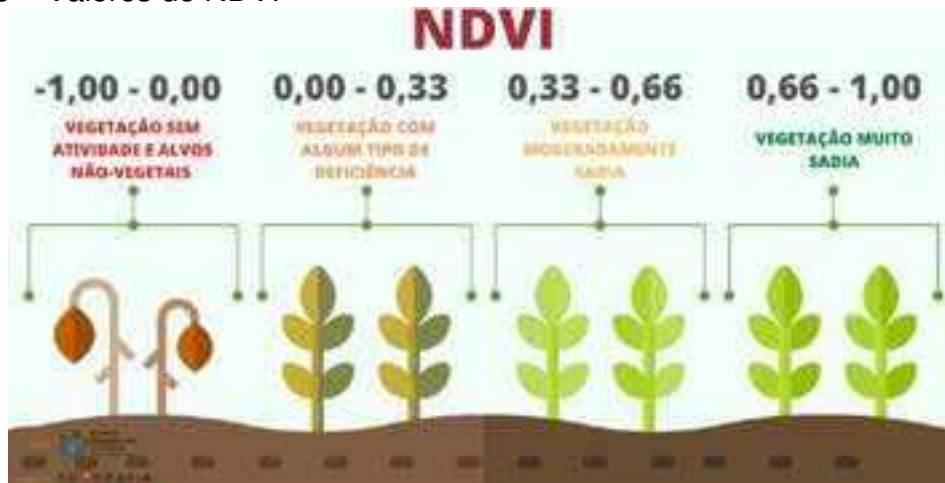
#### 3.3.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Para realizar a avaliação da presença de vegetação utiliza-se o NDVI, obtido através do processamento das bandas espectrais do sensor MODIS. O produto utilizado foi o MYD13Q1 v061 (MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid). Ressalta-se que deve ser realizado o mesmo procedimento feito para a temperatura de superfície. Portanto, é necessária a conversão, reprojeção do arquivo e reamostragem da resolução espacial.

### 3. METODOLOGIA

Esse índice desenvolvido por Rouse *et al.* (1973) utiliza as bandas de infravermelho próximo (NIR) e o vermelho (RED) apresentando um intervalo de -1 a +1. Valores próximos a +1 apresentam vegetação mais saudável e abundante, valores próximos a 0 representam solo exposto e os valores negativos próximos a -1 indicam a presença de água, conforme Figura 13 (Pessi *et al.*, 2019).

Figura 13 – Valores do NDVI



Fonte: Cereda Júnior, 2020, p. 7, com base em EOS - Earth Observing System, 2019.

É preciso ressaltar que o NDVI é um índice que varia em função de aspectos sazonais, como precipitação, aspectos climáticos e ciclo de vida da planta. Outros fatores como a cobertura de nuvens e a chuva têm potencial para desencadear mudanças significativas em um curto período de tempo (Elmarakby; Elkadi, 2024). Dessa maneira, para um mesmo ano, ou até mesmo para o mesmo mês, o NDVI pode apresentar variações significativas em seus valores.

O NDVI pode ser calculado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

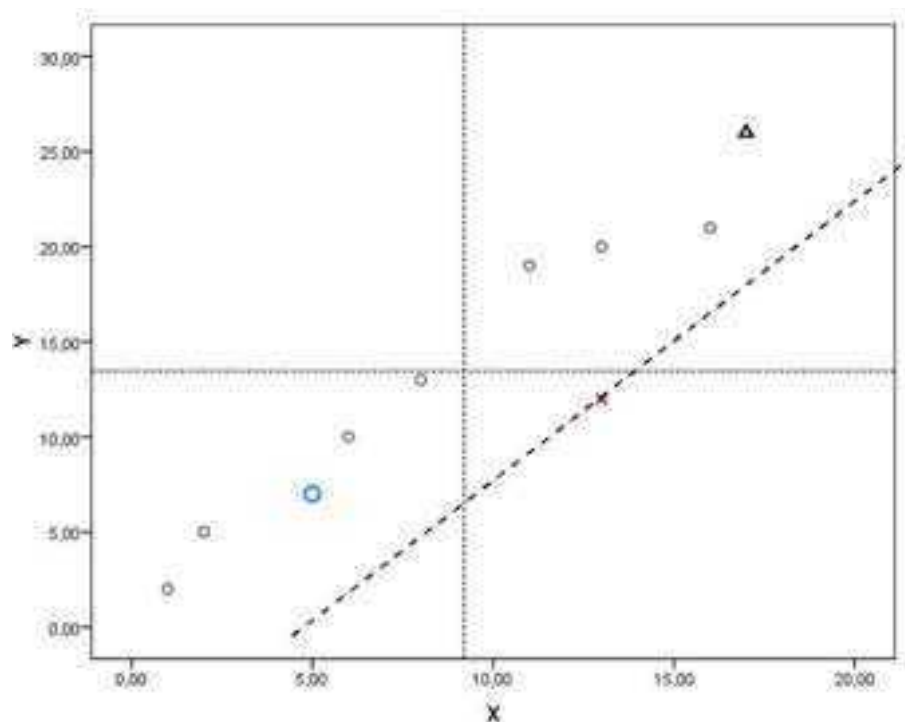
Onde: NDVI é o índice de vegetação por diferença normalizada; NIR é a banda referente ao Infravermelho próximo e RED é a banda referente ao vermelho. Após a aquisição das bandas oriundas do sensor MODIS, realiza-se o processamento dos dados por meio do *software* Qgis 3.22.7, através da calculadora raster, ferramenta nativa do programa.

### 3.3.4 Análises estatísticas

Com o intuito de verificar as relações entre as variáveis analisadas na pesquisa, realizou-se a construção de gráficos de dispersão e *boxplot* e o cálculo do coeficiente de Pearson e de determinação. Ao transformar os dados em pontos em um gráfico de dispersão, é obtida uma representação visual da relação entre as variáveis, permitindo identificar padrões e tendências.

O gráfico de dispersão revela a distribuição dos pontos no plano cartesiano, conforme a Figura 14. Cada ponto representa um par de valores, um correspondente no eixo “X” e outro no eixo “Y”. Ao observar a disposição desses pontos, é possível identificar padrões visuais que indicam a existência ou não de uma correlação entre as variáveis.

Figura 14 – Exemplo de gráfico de dispersão.



Fonte: (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2009, p.120).

As correlações podem ser positivas, negativas ou não existir correlação nas análises. Se os pontos tendem a subir à direita, existe uma correlação linear positiva. Isso significa que, à medida que o valor da variável X aumenta, o valor da variável Y também tende a aumentar, indicando uma relação direta. Essa relação pode ser interpretada como um aumento em uma variável levando a um aumento proporcional na outra. Se os pontos tendem a descer à direita, existe uma correlação linear negativa. Isso significa

### 3. METODOLOGIA

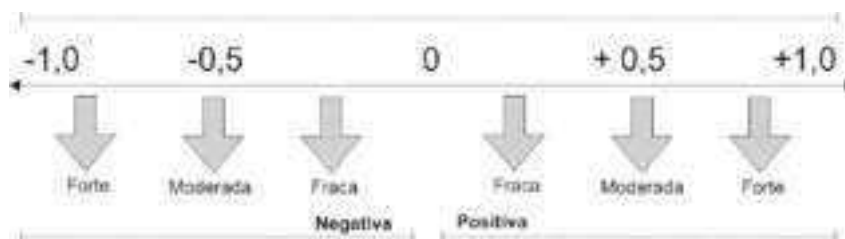
que, à medida que o valor da variável X aumenta, o valor da variável Y tende a diminuir, indicando uma relação inversa entre as variáveis.

Se os pontos estiverem espalhados aleatoriamente, sem nenhum padrão aparente, não há correlação linear entre as variáveis. Essa ausência de correlação não significa, necessariamente, que as variáveis não estejam relacionadas, mas sim que a relação entre elas não é linear.

Embora os gráficos de dispersão forneçam uma visão geral da relação entre as variáveis, é possível fornecer coeficientes que as analisam quantitativamente. Nessa perspectiva, são utilizados os coeficientes de Pearson ( $r$ ) e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ). O coeficiente de Pearson, representado pela letra  $r$ , varia entre -1 e +1, fornecendo uma medida numérica da força e da direção da correlação linear entre duas variáveis, conforme a Figura 15 (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2009).

Quando  $r$  assume o valor de +1 significa uma correlação linear perfeitamente positiva, indicando que as variáveis aumentam ou diminuem juntas. Se  $r$  for 0, quer dizer que não existe correlação linear entre as variáveis. Quando  $r$  vale -1, quer dizer que existe uma correlação linear perfeitamente negativa, indicando que a variável aumenta em uma direção enquanto a outra diminui na direção oposta (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2009).

Figura 15 – Valores do Coeficiente de Pearson



Fonte: Lopes, 2018, p. 186.

O coeficiente de determinação, representado por  $r^2$ , informa qual porcentagem da variação em Y pode ser prevista por X. Valores altos de  $r^2$  próximos a 1 indicam que uma grande proporção da variabilidade em Y pode ser explicada por X. Valores baixos de  $r^2$  (próximos de 0), indicam que uma pequena proporção da variabilidade em Y pode ser explicada por X (Moreira *et al.* 2020). O Quadro 4 contém os intervalos numéricos e suas respectivas interpretações.

### 3. METODOLOGIA

Quadro 4 – Valores dos coeficientes de determinação e sua interpretação.

| Valor de $r^2$ | Interpretação |
|----------------|---------------|
| 0,00           | Nula          |
| 0,01 a 0,20    | Ínfima fraca  |
| 0,21 a 0,40    | Fraca         |
| 0,41 a 0,60    | Moderada      |
| 0,61 a 0,80    | Forte         |
| 0,81 a 0,99    | Ínfima Forte  |
| 1,00           | Perfeita      |

Fonte: Lopes, 2018, p. 187. Organizado pelo autor (2024).

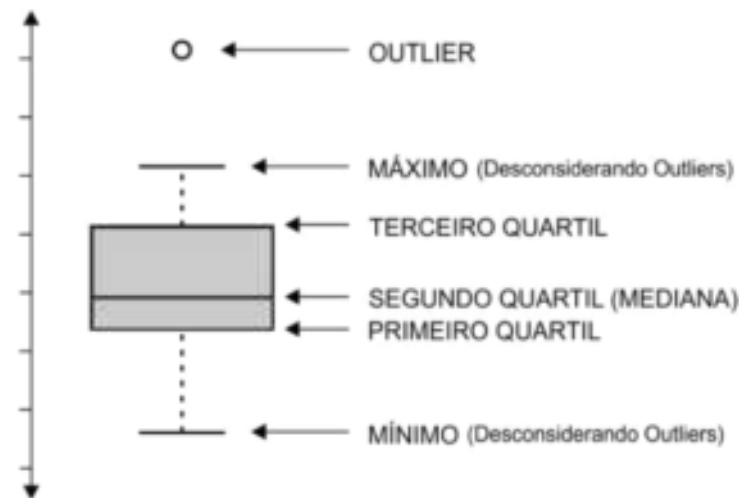
O gráfico *Boxplot*, também chamado de diagrama de caixa, é uma ferramenta gráfica que resume a distribuição de um conjunto de dados numéricos. Ele é útil para visualizar rapidamente a dispersão dos dados, a assimetria da distribuição e a presença de *outliers* (valores discrepantes). Nesta pesquisa, as variáveis de LSTs diurna e noturna e NDVI foram analisadas em relação às classes de LCZs (Farias, [201-?]).

O gráfico é constituído por cinco números: valor mínimo; primeiro quartil (Q1); mediana (segundo quartil, Q2); terceiro quartil (Q3); valor máximo. Esse gráfico é composto por uma caixa, que fica posicionada paralela ao eixo referente aos dados, além disso, pode estar disposta horizontal ou verticalmente (Farias, [201-?]).

A caixa representa o intervalo interquartil (IQR), que vai do primeiro quartil (Q1) ao terceiro quartil (Q3). A caixa é dividida pela mediana, que é o valor que divide o conjunto de dados em dois grupos com o mesmo número de elementos. Além desses elementos, o gráfico pode possuir os chamados *Outliers*: pontos fora das linhas que indicam valores discrepantes que podem influenciar a análise dos dados. A Figura 16 exemplifica a estrutura de um gráfico *Boxplot* (Farias, [201-?]).

### 3. METODOLOGIA

Figura 16 – Exemplo de um gráfico *Boxplot*.

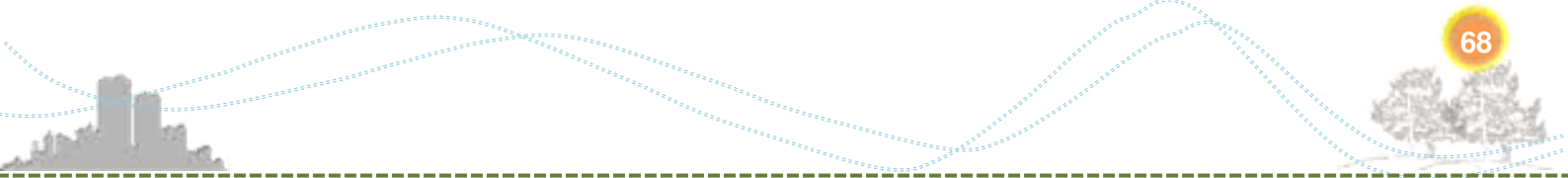


Fonte: Oliveira, 2019.

Para realizar as análises estatísticas e correlacionar as variáveis de estudo, é preciso que todas possuam a mesma resolução espacial. Portanto, a LST, altimetria, hipsometria e *LCZs* foram reamostradas para a resolução de 250 metros, com exceção do NDVI que já apresenta essa resolução. A escolha da resolução de 250 metros é baseada nos estudos de Ferreira (2019) que mostrou boa precisão na análise dos dados.

Após a reamostragem, uma camada vetorial de malha quadrada foi criada, com dimensões de 250 x 250 metros, abrangendo a extensão do perímetro urbano. Posteriormente, com base nessa malha, foram obtidos os centróides das células, resultando em uma nova camada vetorial de pontos. Utilizando o *plugin Point Sampling Tool*, disponível para instalação no software QGIS, foi possível extrair os valores do *pixel* correspondentes a cada variável para um ponto específico. Dessa forma, ao final do processo, cada ponto conterá informações referentes ao NDVI, LST, altitude, *LCZ* e declividade, possibilitando as correlações.

Adiante, no capítulo 4, serão discutidos os resultados da pesquisa com base nas variáveis de estudo propostas.



Temperatura  
Vegetação  
Aquecimento  
Global  
Cidades  
Verde  
Urbano  
Pessoas  
Edifícios  
Sensoriamento  
remoto  
Clima  
Desenho Urbano  
Ação Antrópica  
Uso dos solos  
Radiação  
Microclima  
urbano  
NDVI  
Ilha de Calor  
Legislação  
Dióxido de Carbono  
Georreferenciamento  
Colatina  
Cânions  
urbanos  
Árvores  
Urbanização  
Mudanças  
Climáticas  
Planejamento  
Urbanos  
Adaptação  
MODIS

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

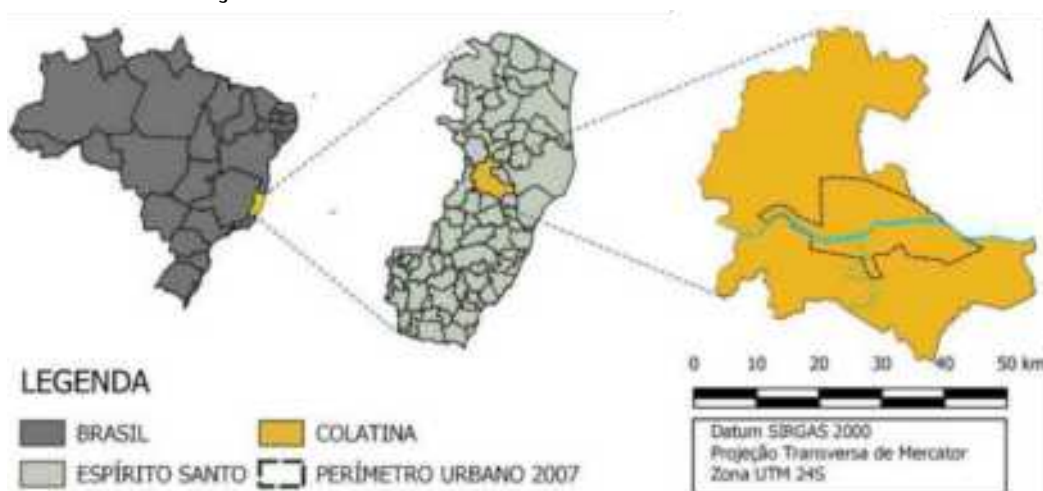
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo se dedica a estudar o município de Colatina, enquanto cidade escolhida como estudo de caso, e suas condicionantes, tais como a formação e desenvolvimento territorial; análise do uso e ocupação do solo; e também, das características físico-territoriais, como relevo, hidrografia e clima urbano. Esses fatores são importantes, considerando que permitem a aproximação com o recorte territorial e o diagnóstico da área para a proposição de intervenções. Ademais, serão mostrados os resultados das variáveis de pesquisa – NDVI, LST e LCZ – por meio de mapas e imagens. Ao final do capítulo são discutidas as estatísticas realizadas.

### 4.1 A CIDADE DE COLATINA: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-TERRITORIAL

A cidade de Colatina está localizada no noroeste do Espírito Santo (Figura 17), possuindo território de 1.398,21 km<sup>2</sup> e população estimada em 120.033 habitantes no ano de 2022 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022). Fruto do desbravamento de imigrantes italianos, portugueses e alemães, a região onde hoje se encontra Colatina foi povoada pela primeira vez por volta do ano de 1800. Em função de sua posição estratégica no Vale do Rio Doce, foi caminho para a rota do ouro e para o escoamento de bens e produtos até o oceano Atlântico (Instituto Jones Dos Santos Neves, 1977).

Figura 17 – Localização de Colatina

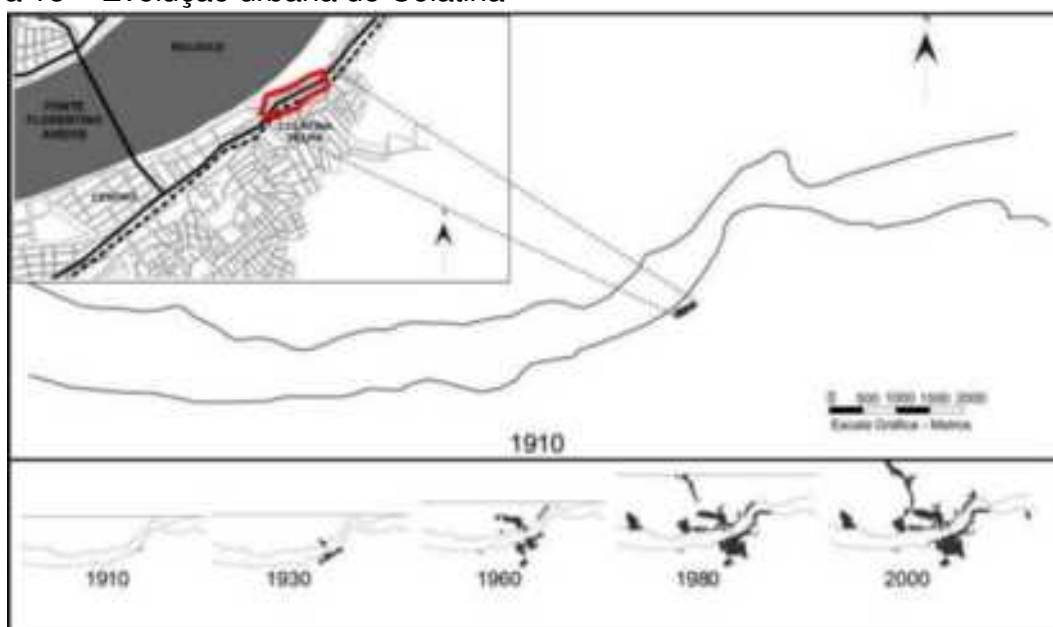


Fonte: Dados do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES), mapas elaborados pelo autor, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cidade começou seu processo de expansão (Figura 18) povoando as margens dos dois rios que cortam seu território, principalmente nas áreas planas. Com a intenção de colonizar as terras da margem norte do Rio Doce, foi construída, em 1928, a ponte Florentino Ávidos, facilitando o fluxo de pessoas e mercadorias que transitavam para o norte do estado. As terras no norte do município eram cobertas por matas nativas com grande quantidade de madeira que foram extraídas para dar lugar às lavouras de café (Instituto Jones dos Santos Neves, 1977), o que mais tarde intensificaria o processo de erosão na cidade, principalmente em áreas de encostas (Instituto Jones dos Santos Neves, 1982b).

Figura 18 – Evolução urbana de Colatina



Fonte: Albani, 2012, p. 64, modificado pelo autor, 2023.

A cultura do café atraiu colonos para a região e permitiu a sua permanência, fazendo com que Colatina atingisse destaque como potência cafeeira a nível nacional. Entretanto, após o ano de 1945, a pecuária bovina despontava como alternativa econômica, mostrando-se igualmente lucrativa em comparação às lavouras de café. Essa cultura se intensificou e, nos anos 60, com a crise do café, os programas de erradicação dos cafezais chegaram à região para dar lugar às pastagens (Instituto Jones dos Santos Neves, 1982a). Ressalta-se que, em função do desmatamento progressivo oriundo desde o período colonial e do manejo inadequado dos cafezais, houve o esgotamento de terras férteis na região (Albani, Miranda, 2013; Instituto Jones dos Santos Neves, 1982a).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado, a crise cafeeira trouxe impactos para Colatina: o aumento da área urbana central e o expressivo acréscimo populacional, passando de 3.913 habitantes em 1940 para 26.757 habitantes em 1960 (Albani, Miranda, 2013). Ainda conforme as autoras, os impactos da crise influenciaram o setor de mobilidade:

O incremento da área urbana de Colatina gerou também o crescimento do fluxo de automóveis na região central da cidade, não dimensionada para o tráfego crescente, não suportou a coexistência com a ferrovia que cruzava a região central. Em 1975 foi retirada a ferrovia do interior da cidade, levando os trens para uma variante pela região sul, fora do centro principal. A retirada dos trilhos do centro da cidade teve por objetivo a aceleração dos fluxos da produção globalizada (Albani, Miranda, 2013, p. 7).

Este subcapítulo abordou brevemente a formação e desenvolvimento de Colatina, mostrando sua origem e os processos que resultaram na cidade que se conhece atualmente. Evidenciado pela documentação disponibilizada pelo Instituto Jones do Santos Neves, o processo de ocupação territorial na região fez com que vegetação nativa (Mata Atlântica, bioma que domina o Espírito Santo) diminuísse severamente. Além disto, o planejamento urbanístico inadequado conduziu a cidade a um crescimento que não levou em consideração a presença da vegetação, tendo reflexo direto no microclima urbano, nos desastres relacionados às águas urbanas, na criação de espaços livres de uso público não arborizados e nos eventos relacionados à crise hídrica.

O subcapítulo seguinte aborda uma investigação acerca das características físico-territoriais de Colatina visando compreender as potencialidades, fragilidades e dinâmicas presentes no recorte territorial delimitado por esta pesquisa.

##### 4.1.1 Caracterização Físico-Territorial De Colatina

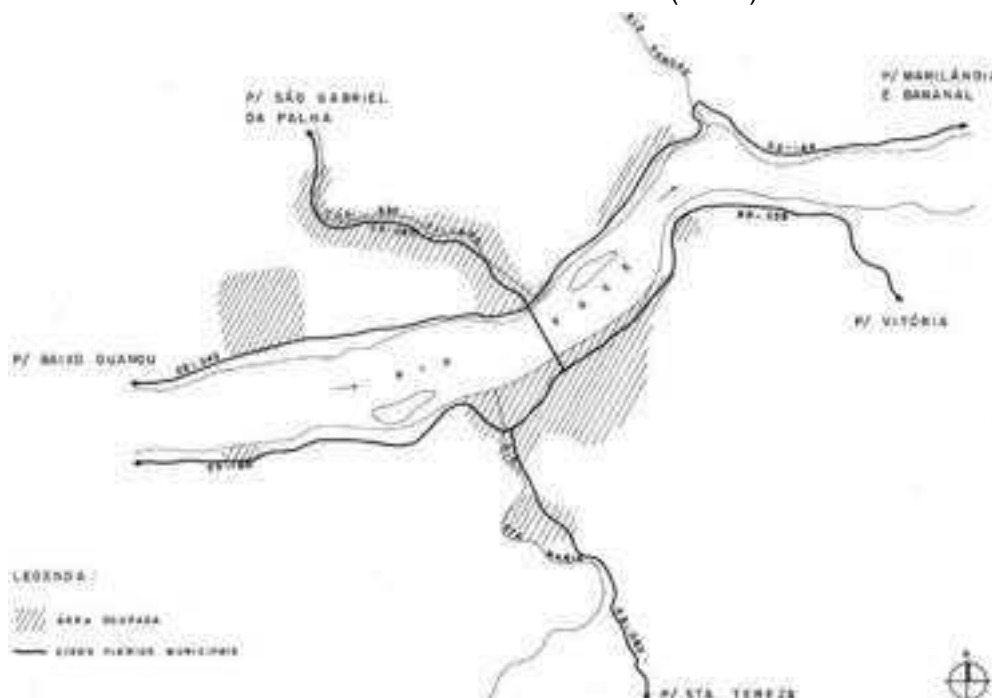
Colatina se localiza em uma região que apresenta algumas barreiras naturais no seu processo de ocupação. Além de ser uma cidade ribeirinha, cortada por dois importantes cursos d'água - o Rio Doce e o Rio Santa Maria do Doce - a cidade apresenta topografia acidentada - fatores que influenciaram e direcionaram o crescimento e expansão da cidade. Conforme apontado no Plano Diretor Físico-Territorial Urbano de Colatina, em 1982, elaborado pelo Instituto Jones dos Santos neves:

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relevo acidentado do sítio condicionou o desenvolvimento espacial da cidade de Colatina. A partir do núcleo inicial, situado na margem direita do Rio Doce, a ocupação estendeu-se por toda a estreita faixa entre o rio e as encostas circundantes, inclusive ao longo da BR-259 (atual acesso para Vitória) e da ES-164 paralela ao Rio Doce, ainda que aqui, de forma incipiente. Posteriormente, foram ocupadas as áreas planas da margem direita do Rio Santa Maria, contíguas à via de acesso a Santa Tereza (ES-80). Pouco a pouco, a mancha urbana estendeu-se sobre encostas adjacentes às áreas já urbanizadas. Este processo dirigido pelo mercado imobiliário, resultou em assentamentos habitacionais desordenados, em torno do centro, sem obedecer a estratégia previa alguma (IJSN, 1982b, p. 21).

A ocupação ocorreu primeiramente nas áreas planas, principalmente nas margens dos corpos d'água, como o rio São Silvano, na margem norte da cidade. Nessas localidades, surgiram os principais eixos viários concentrando as atividades comerciais. Além disso, à medida que os espaços planos se tornavam escassos, as encostas começaram a ser ocupadas por conjuntos habitacionais. Dessa forma, a estruturação espacial de Colatina se deu ao longo dos eixos viários, conforme Figura 19, acompanhando os rios e direcionando o fluxo para a região central (IJSN, 1982b).

Figura 19 – Mancha urbana e eixos viários de Colatina (1982)



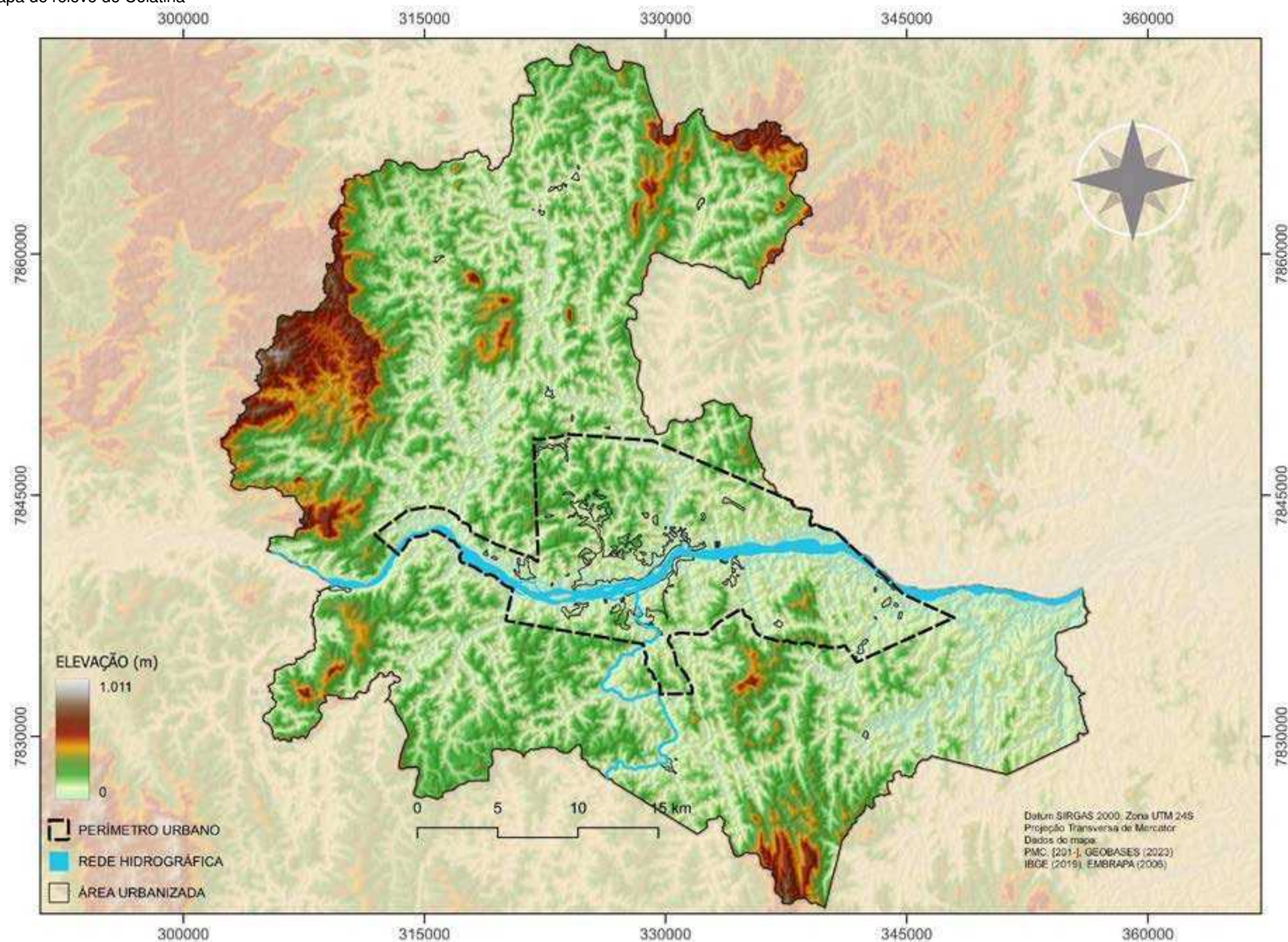
Fonte: IJSN (1982b), não paginado.

Segundo Coelho (2009), Colatina está situada no Vale do Rio Doce, especificamente, conforme classificação do autor, na região do Baixo Rio Doce. Essa região apresenta relevo dominado por colinas, tabuleiros e planícies costeiras, fazendo com que a cidade

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

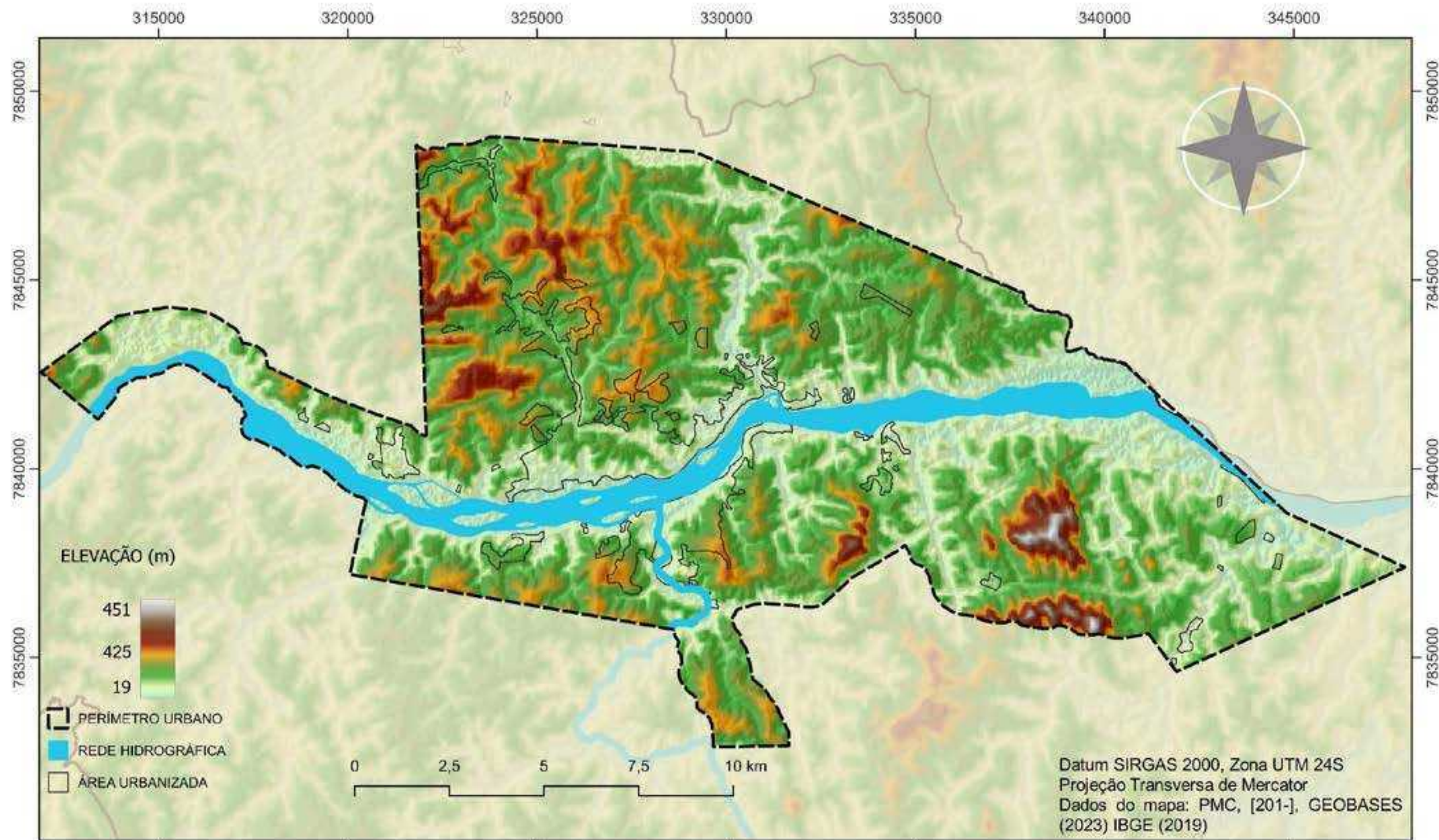
apresente em seu tecido urbano grande quantidade de morros, encostas e áreas de alta declividade (Coelho, 2009), conforme apresentado nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Mapa de relevo de Colatina



Fonte: PMC [201-], GEOBASES (2023), IBGE (2019), mapa organizado pelo autor (2023).

Figura 21 – Mapa de relevo de Colatina com foco no perímetro urbano



Fonte: PMC [201-], GEOBASES (2023), IBGE (2019), mapa organizado pelo autor (2023).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

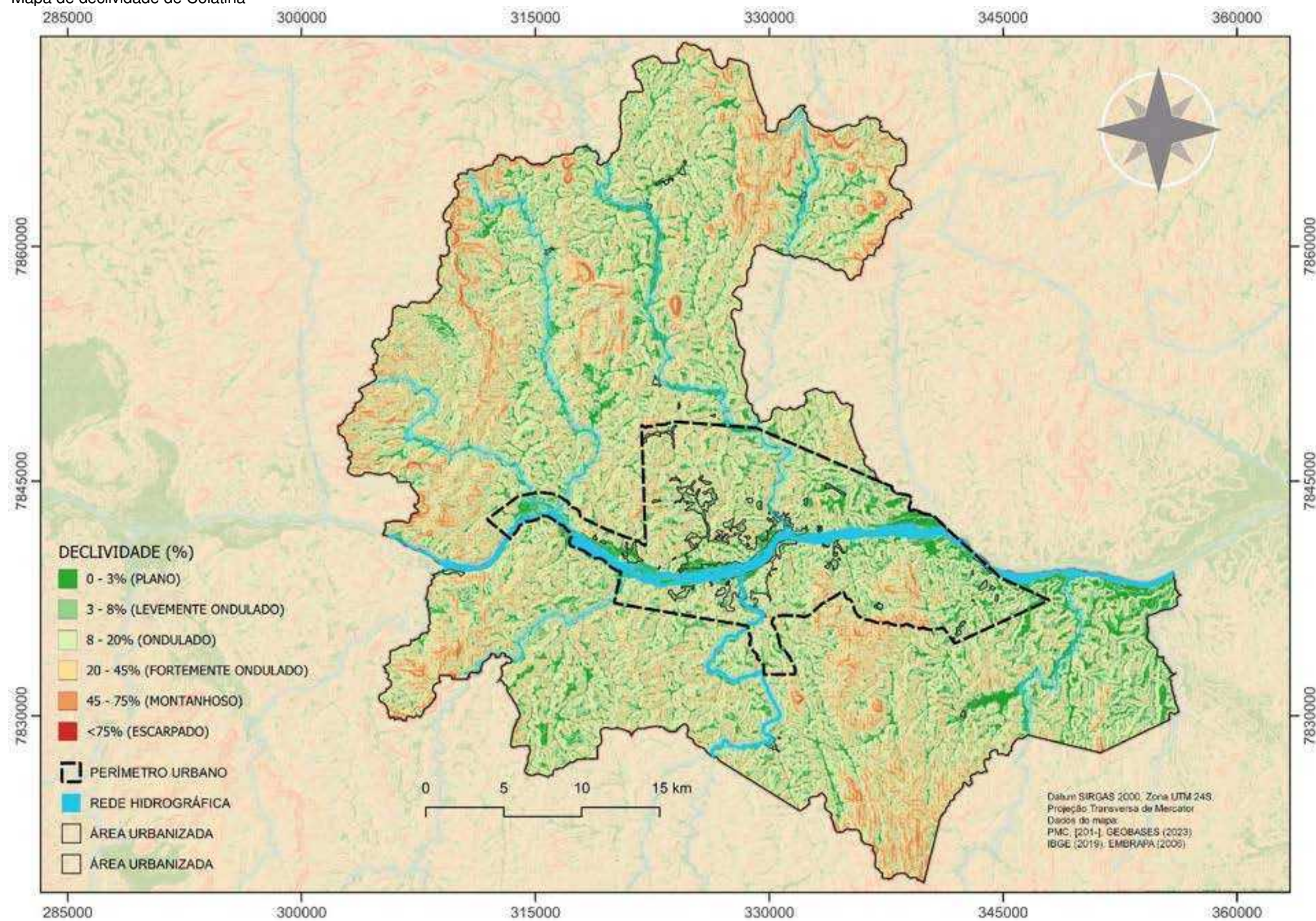
Observa-se, nas Figuras Figura 20 e Figura 21 que as áreas de relevo mais suave estão localizadas próximas aos leitos dos rios e córregos da região, corroborando com as informações apresentadas pelo Instituto Jones dos Santos Neves, em 1982. Fica evidenciada a variação de altitude presente na cidade - fator determinante para sua expansão e formação urbana - e a ocupação residencial em áreas de declive mais acentuado.

Locais de significativas variações altimétricas e relevo formado por fundos de vales, colinas e encostas, como a região dos Mares de Morros Florestados, identificada por Ab'Sáber (2003), tornam os estudos de clima urbano singulares e desafiadores, pois evidenciam sítios com irregularidades topográficas (Silva; Fialho; Alves, 2012, p. 136).

Levando isso em consideração, o clima das cidades de pequeno e médio porte situadas em fundos de vale com relevo acidentado é diretamente afetado pelas variações topográficas. Cabe a ressalva de que as atividades antrópicas locais interferem significativamente na dinâmica climática do sítio, sendo esta potencializada pelo relevo - intensificando-a ou amenizando-a (Silva; Fialho; Alves, 2012).

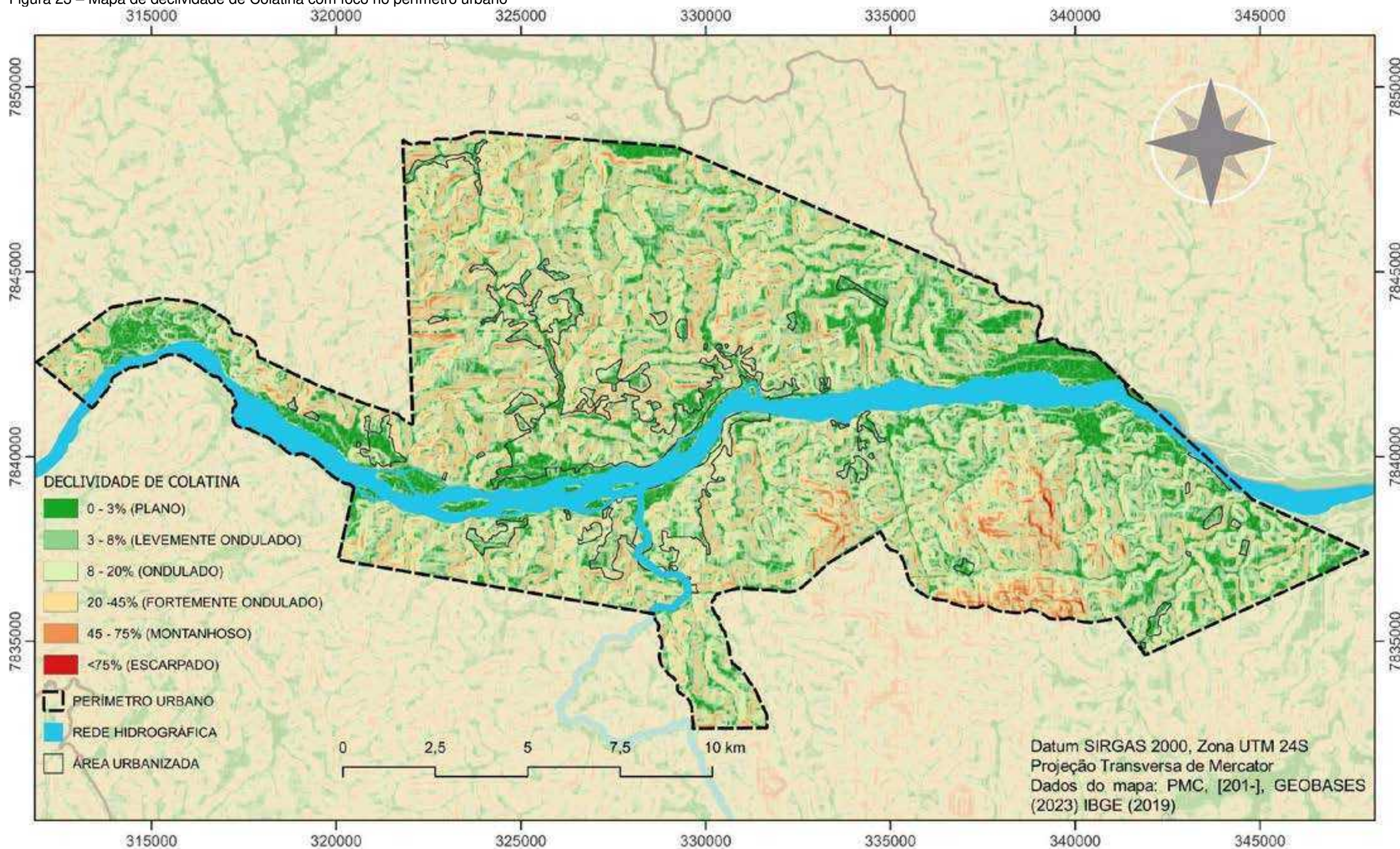
Essas regiões de topografia acentuada, conforme Figuras Figura 22 e Figura 23, tornam-se, em muitos casos, impróprias para habitação e constituem potenciais áreas de risco. Além disso, em função da retirada da vegetação nativa e da substituição por pastagens juntamente com a crescente impermeabilização – vista em muitos centros urbanos como sinal único de progresso – o escoamento superficial das águas de chuva passa a ser maior. Dessa forma, compromete-se a capacidade do sistema de drenagem, contribui-se para a erosão do solo e assoreamento dos corpos hídricos - fatores recorrentes em Colatina.

Figura 22 – Mapa de declividade de Colatina



Fonte: PMC [201-], GEOBASES (2023), IBGE (2019), mapa organizado pelo autor (2023).

Figura 23 – Mapa de declividade de Colatina com foco no perímetro urbano



Fonte: PMC [201-], GEOBASES (2023), IBGE (2019), mapa organizado pelo autor (2023).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizou-se a classificação feita pela EMPRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) para realizar o mapeamento da região em relação à sua declividade. O mapa indica que grande parte do território Colatinense está classificado como ondulado e fortemente ondulado, tendo alguns pontos com topografia mais acidentada. Apesar de impor algumas condicionantes na urbanização de Colatina, a combinação desses elementos - rios, córregos, morros - agrega valores paisagísticos na região, principalmente no que se refere aos aspectos visuais da cidade, tendo o pôr-do-sol como elemento de destaque (Figura 24). Adicionalmente, com o intuito de ilustrar o padrão de ocupação urbana, Figura 25 a apresenta um mosaico de imagens da cidade de Colatina.

Figura 24 – Perspectiva tridimensional de parte da mancha urbana de Colatina e mosaico de imagens da cidade



Fonte: GEOBASES (2023), mapa organizado pelo autor no *software* QGIS (2023).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 25 – Mosaico de imagens ilustrando a cidade de Colatina.



Legenda: (a) e (b) Vistas da ocupação da parte sul de Colatina; (c) e (d) Rio Doce; (e) Ponte Florentino Avidos com vista para o bairro Nossa Senhora Aparecida; (f) Vista para os bairros Maria Ismênia, Vila Lenira, Residencial Nobre e Moacyr Brotas; (g) Avenida Getúlio Vargas localizada no Centro de Colatina; (h) Vista da Avenida Beira Rio em direção ao Bairro Colatina Velha; (i) Vista aérea da Avenida Beira Rio, Bairro Colatina Velha e Bairro Santa Margarida; (j) Colatina Velha; (k) Vista para a margem sul de Colatina; (l) Bairro Colatina Velha, São Vicente e Bela Vista. Fonte: Mosaico organizado pelo autor, com imagens do próprio acervo (2024).

Neste subcapítulo foram descritas as análises feitas em relação às características físico-territoriais de Colatina. Percebe-se que as áreas de topografia íngreme se tornaram fatores limitantes ao processo de ocupação. Entretanto, mesmo essas áreas sendo desfavoráveis à ocupação, muitas residências foram construídas nessas localidades. Outro aspecto que merece destaque em relação ao relevo acidentado de Colatina está no fato de que a cobertura vegetal destas localidades foi perdida desde o período colonial. Portanto, como evidenciado nos mapas anteriores, grande parte dessas colinas, morros e escarpas fica exposta às intempéries e suscetível à erosão, bem como à perda da fertilidade. Além disso, os corpos hídricos sofrem diretamente com a ausência de massas vegetadas pois estas amenizariam o assoreamento, permitiriam a captura de água de chuva e reduziriam o escoamento superficial.

Essa situação reflete a realidade de muitas cidades brasileiras que, não dispendo de correto planejamento urbanístico e ambiental, provocaram crescimento desordenado e

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

disperso. As questões levantadas nessa seção relacionam-se intimamente com o uso e cobertura do solo. Na próxima seção, são descritos os padrões de ocupação no território colatinense.

### 4.1.2 Uso e Ocupação em Colatina

Estima-se que o ser humano já interferiu e modificou mais da metade da superfície do planeta, e isso ocorre pela demanda que o aumento populacional tem por água, alimento, solos e minerais. Deve-se entender que a mudança no uso do solo tem gerado sérias consequências nos ecossistemas e em seus serviços prestados, assim como no bem-estar da população (Hooke, Martín-Duque, Pedraza, 2013).

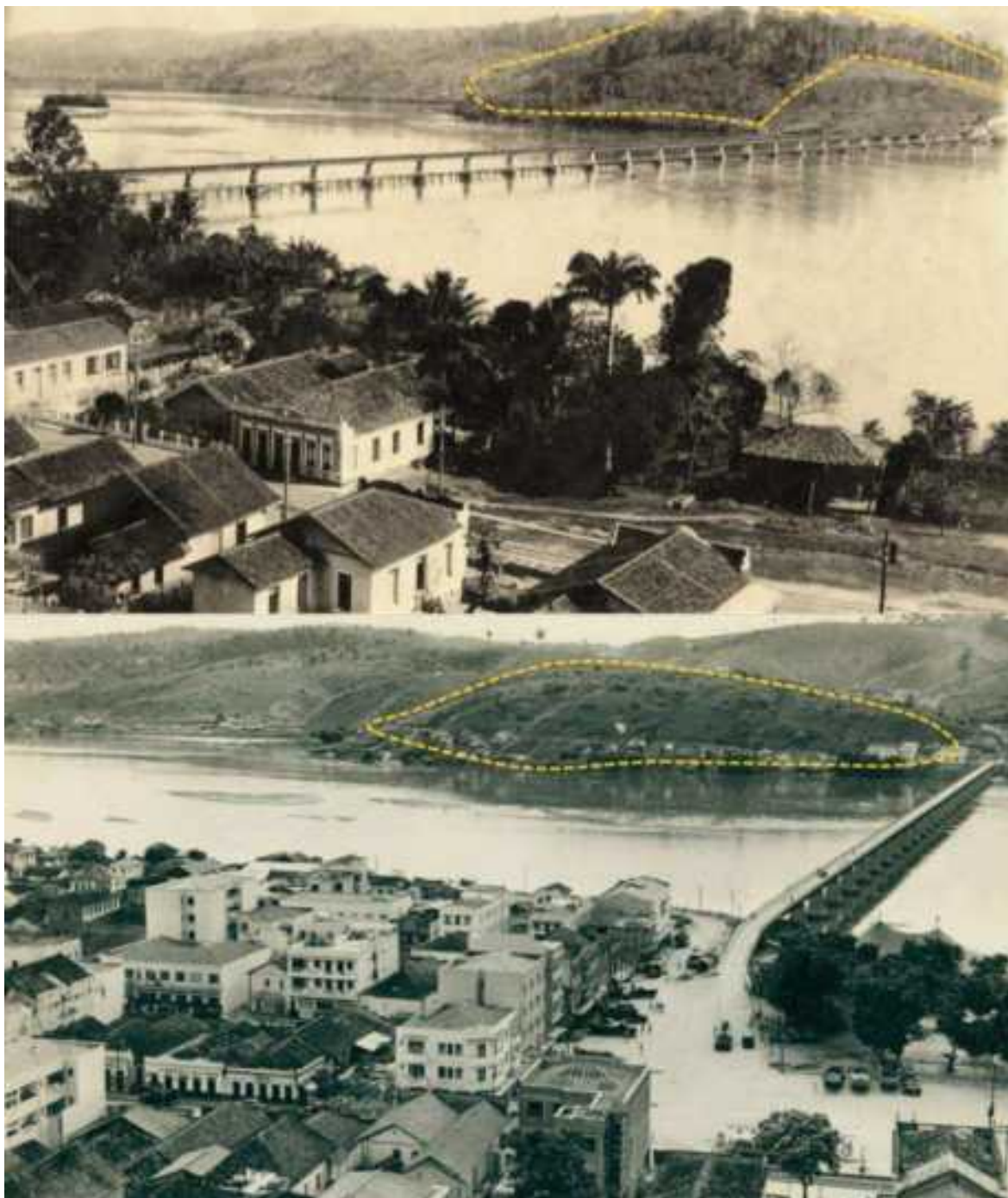
Dentre as consequências negativas, pode-se citar: a alteração no regime pluviométrico, degradação do solo, erosão decorrente do desmatamento, impactos nos corpos hídricos (Hooke, Martín-Duque, Pedraza, 2013) e perda da biodiversidade (Mendes, Rbek-Araujo, 2021). Além disso, conforme apontado pelo relatório do IPCC (2022) e pelo Observatório do Clima (2021), a mudança no uso do solo é um fator de alta influência na liberação de gases de efeito estufa para a atmosfera, principalmente em função do desmatamento.

Esses problemas são agravados nas cidades em função do processo de urbanização que, inevitavelmente, converte a terra rural em terra urbana, aumentando a impermeabilização. A urbanização traz consigo benefícios à sociedade, contudo, também proporciona desafios de caráter ambiental e social. Um dos principais problemas observados é a supressão da cobertura vegetal e consequente perda dos serviços ecossistêmicos prestados pelas massas vegetadas, tais como regulação do clima, sequestro de carbono, bloqueio à radiação solar, melhoria na qualidade do ar, amenização dos ventos, promoção da evaporação, resfriamento das superfícies, produção de sombra e benefícios à saúde da população (Duarte *et al.*, 2017).

Como visto, o processo de formação e desenvolvimento territorial de Colatina foi marcado pela retirada da cobertura vegetal nativa e sua substituição por lavouras de café e pastagens. Na Figura 26 é demonstrada parte desse processo de derrubada das matas na margem norte de Colatina.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 26 – Derrubada da vegetação nativa na margem norte do rio Doce em Colatina



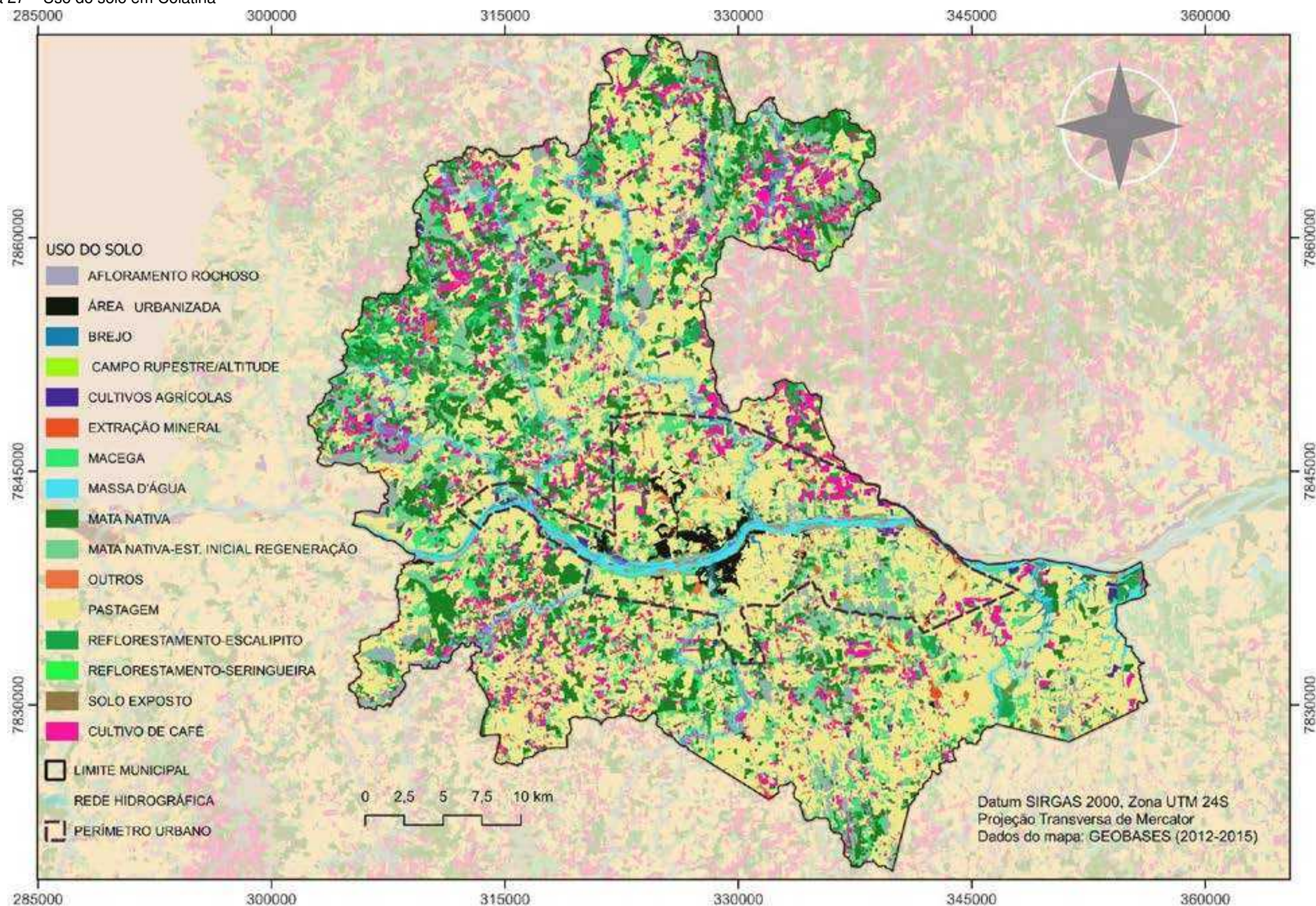
Fonte: IBGE (2022), data aproximada das imagens [19--], modificado pelo autor (2023).

Levando o exposto em consideração, atualmente a cidade sofre as consequências potencializadas por esse processo, enfrentando problemas relacionados às águas urbanas, erosão do solo e desconforto térmico. Com o intuito de investigar esses fatores e sua relação com a presença das massas vegetadas, torna-se importante compreender a cobertura do solo no município de Colatina, conforme mostrado nas Figuras Figura 27 e Figura 28.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

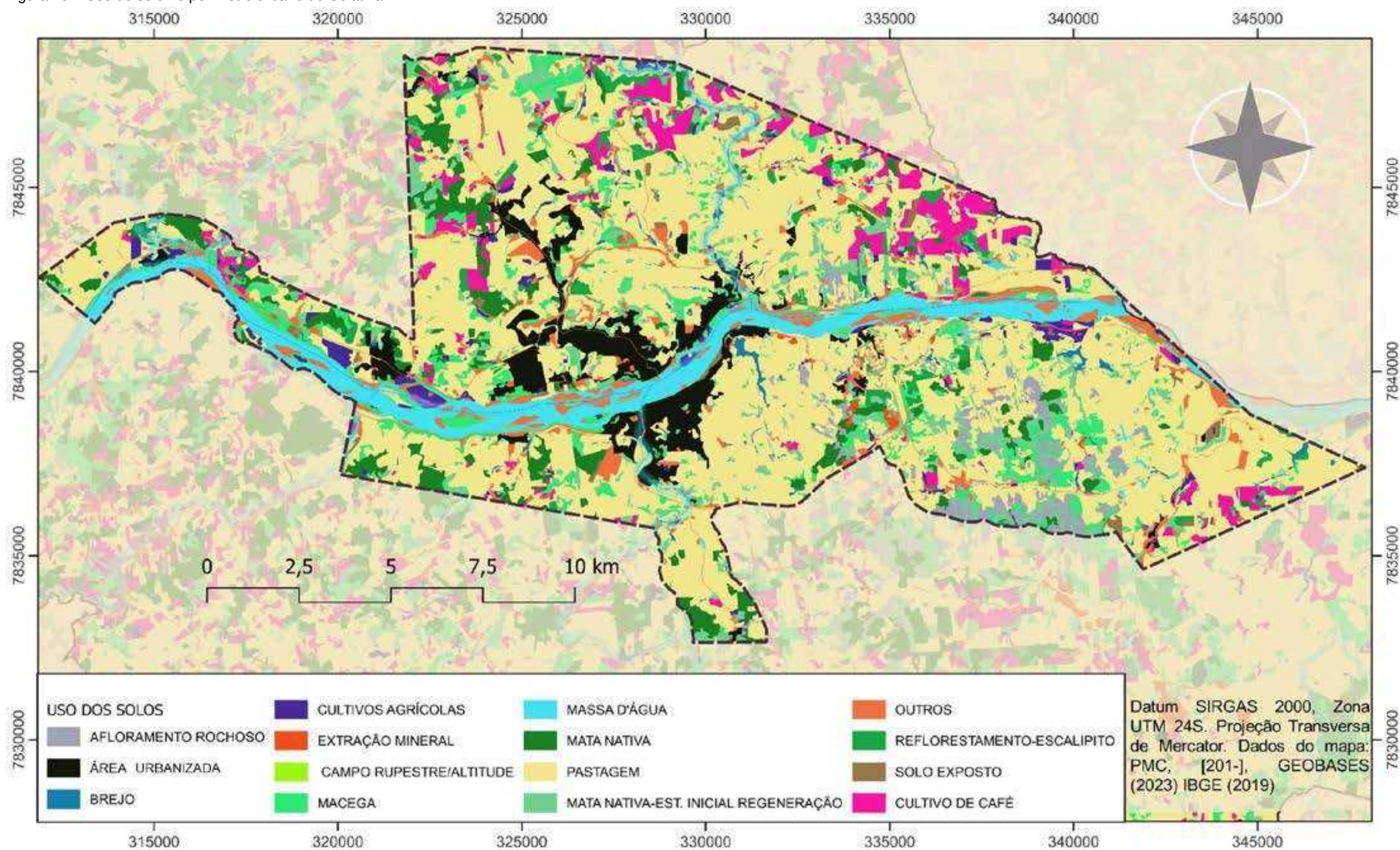
O mapa da Figura 28 mostra que grande parte do território é ocupado por pastagens, somando 52,18% do total de terras, reflexo das práticas de desmatamento para a formação territorial de Colatina e para a produção da agropecuária. Ao contrário das pastagens, as áreas de mata nativa somam apenas 5,29%; as matas nativas em estágio de recuperação, 6,77%; e os reflorestamentos de Eucalipto, 1,87%. Percebe-se, então, que a cobertura por massas vegetadas ocupa uma pequena parcela da área do município.

Figura 27 – Uso do solo em Colatina



Fonte: GEOBASES, (2022), PMC [201-]. Mapa organizado pelo autor (2023).

Figura 28 – Uso do solo no perímetro urbano de Colatina

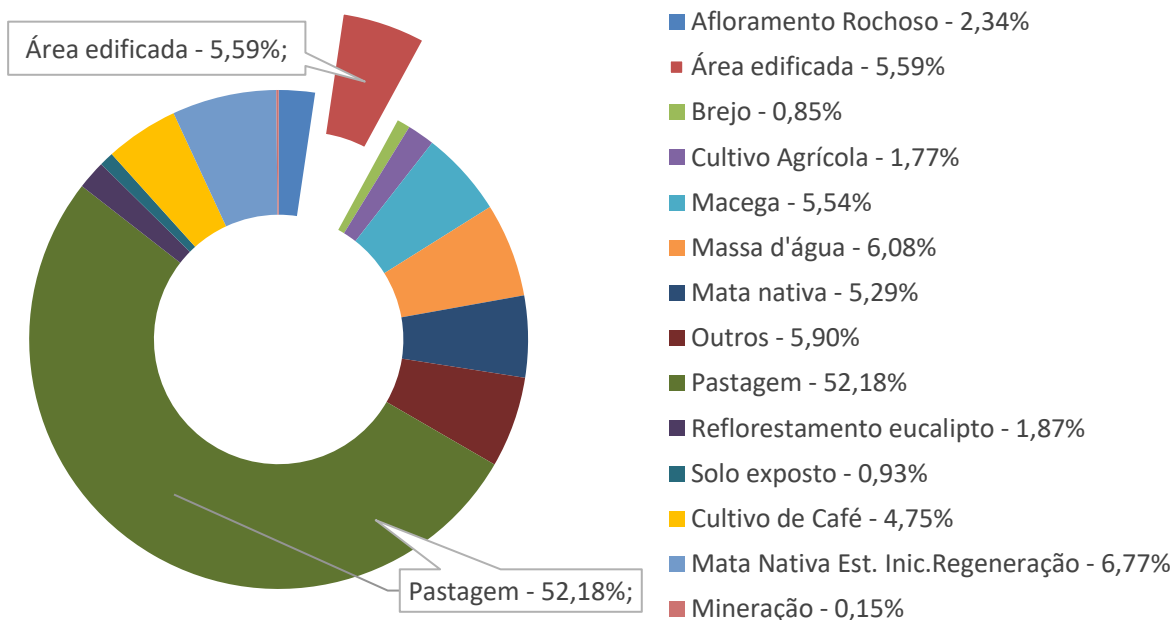


Fonte: GEOBASES, (2022), PMC [201-]. Mapa organizado pelo autor (2023).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados do Gráfico 1 evidenciam a disparidade de porcentagem de massas vegetadas em relação à pastagem, que predomina em 52,18% do território. As áreas de mata nativa e em estágio inicial de regeneração somam 12,06% do território e, como pode ser visto, grande parte se encontra fragmentada, não apresentando conexões ou corredores. Essa situação não contribui para a prosperidade da biodiversidade, tampouco para a promoção dos serviços ecossistêmicos. A conectividade entre os fragmentos de vegetação apoia a circulação de espécies, dispersão de sementes e manutenção do fluxo ecológico. Todavia, percebe-se que em Colatina, existe a carência de corredores que exerçam essa função de conectividade (Robba, 2007; Ribeiro; Mello; Valente, 2020).

Gráfico 1 – Porcentagens de uso e ocupação no território colatinense.

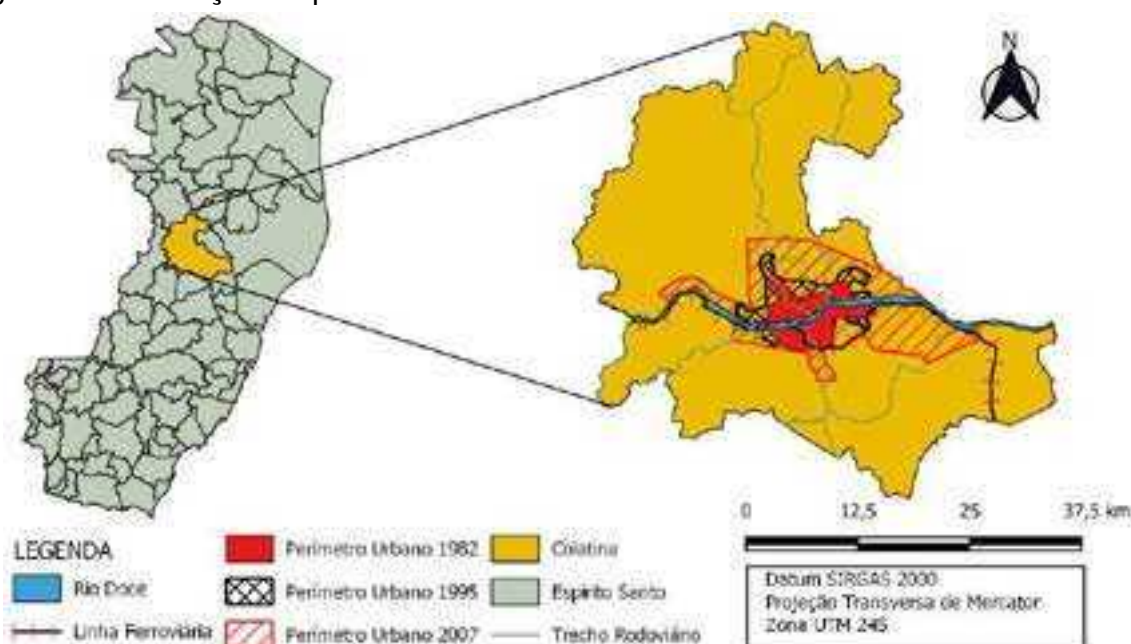


Fonte: GEOBASES, (2022), gráfico organizado pelo autor (2023).

Outro fator que merece destaque e tem influência direta no processo de mudança no uso do solo é a evolução do perímetro urbano, que passou de 55km<sup>2</sup> em 1982 para 253km<sup>2</sup> em 2007 (Prefeitura Municipal De Colatina, [201-]). Isso resultou em um aumento de 360% em sua área. Contudo, sua mancha urbana não apresenta a mesma velocidade de expansão. Segundo Corrêa (1989), esse aumento do perímetro urbano pode estar associado ao valor que a terra rural assume ao se tornar urbana, pelo que os proprietários “estão interessados no valor de troca da terra e não no seu valor de uso” (Corrêa, 1989, p. 2). Na Figura 29 é mostrada a evolução do perímetro urbano.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

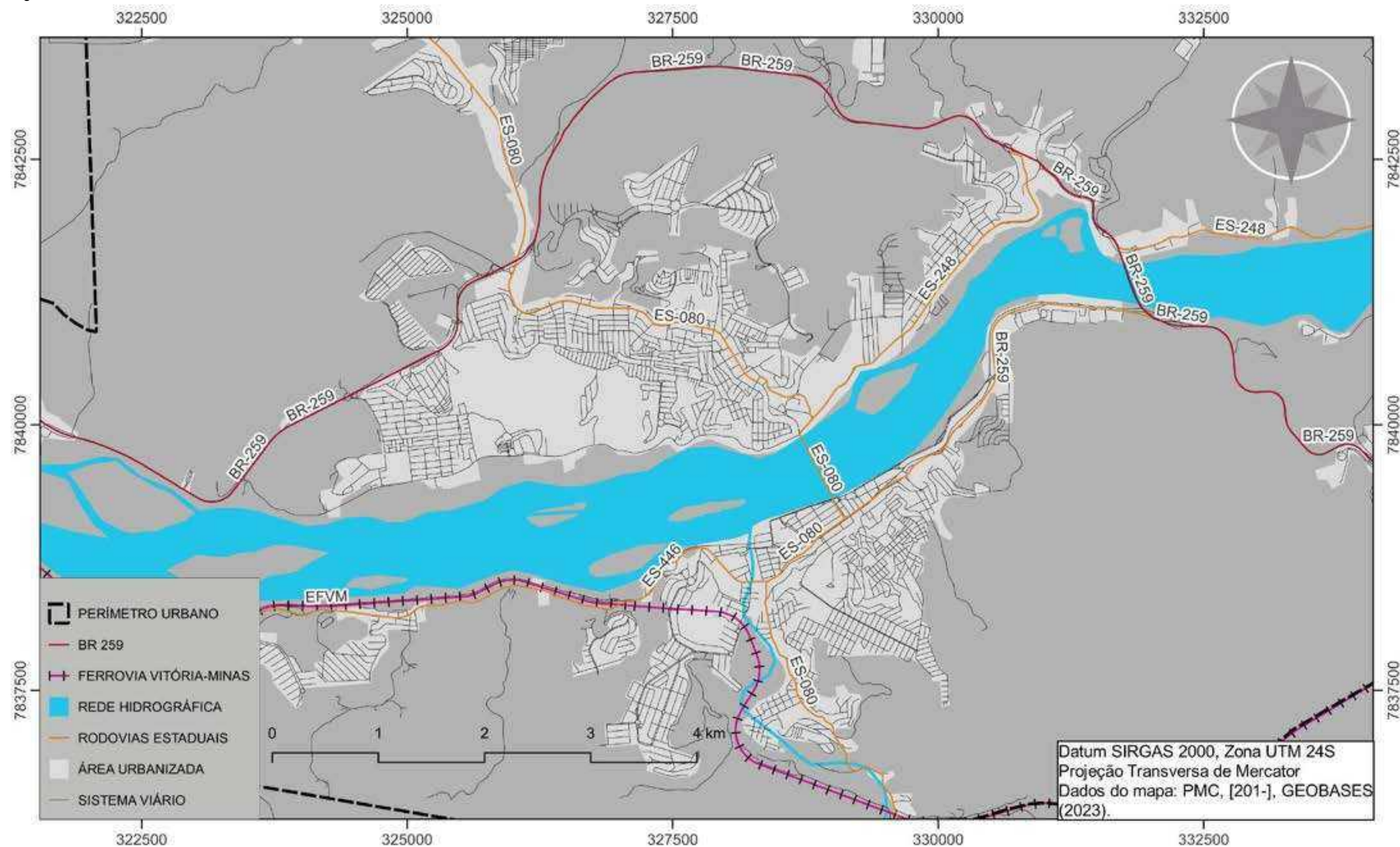
Figura 29 – Evolução do perímetro urbano de Colatina.



Fonte: Censo IBGE, 2010, mapa organizado pelo autor, 2023.

A expansão do perímetro urbano acaba englobando terras que outrora foram cobertas por vegetação nativa que contribuem positivamente para o sequestro carbono, retenção das águas pluviais e melhoria do microclima. De acordo com estudos (Observatório do Clima, 2021; IPCC, 2022) a mudança no uso do solo é um forte agravante do efeito estufa e, no Brasil, contribui com 46% das emissões brutas de carbono. Outro efeito provocado pelo aumento no perímetro urbano é a dispersão da cidade e, consequentemente, a necessária ampliação do sistema viário (Figura 30), contribuindo para o aumento da área impermeabilizada. Como fator agravante, a dispersão pressiona o uso de automóveis particulares, aumentando as emissões por queima de combustíveis fósseis, agravando o efeito estufa. Na Figura 31, são apresentadas imagens de Colatina mostrando a ocupação urbana da cidade.

Figura 30 – Sistema viário de Colatina



Fonte: PMC, [201-]; GEOBASES, 2023. Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 31 – Imagens da ocupação urbana em Colatina.



Fonte: dados do mapeamento com base em PMC, [201-]; GEOBASES, 2023. As Imagens “a, b, c, d, h, i, k, l, m, n, o e p” são oriundas de acervo próprio (2024); a imagem “e” de autoria Jornal Folha 1 (2023); a imagem “f” de autoria de TV Gazeta ES (2021); imagem “g e j” de autoria de ES Fala (2024). Elaborado pelo autor, 2024.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este subcapítulo relatou a cobertura do solo no município de Colatina e ressaltou as consequências oriundas do processo de desenvolvimento urbano, resultando em terras dominadas por pastagens e com fragmentos de vegetação não conectados. Como visto, esse tipo de ocupação gera impactos negativos à natureza e à sociedade, sendo assim, a seguir, são analisadas as fragilidades ambientais em Colatina que podem ser ocasionadas ou potencializadas pela ausência de massas vegetadas.

### 4.1.3 Ausência de massas vegetadas e fragilidades ambientais

Colatina é conhecida por ser uma cidade que apresenta altas temperaturas, principalmente em sua mancha urbana, sendo lembrada pelos moradores como um local abafado e sem circulação de ventos. Essa realidade muda nas terras de caráter rural, que apresentam maior permeabilidade e mais áreas verdes contribuindo para temperaturas amenas (Amorim *et al.*, 2020).

De acordo com sistema *Köppen-Geiger*<sup>1</sup>, a cidade está inserida em uma região de clima Aw, clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2020). Apesar disso, de acordo com Amorim *et al.* (2020), o clima em Colatina apresenta variações decorrentes de fatores globais e regionais, como as massas de ar, continentalidade, a topografia e a vegetação. Entretanto, a ação antrópica também é responsável por variações no clima de Colatina.

Conforme apresentado por Coelho (2009) e pela documentação do IJSN, a devastação florestal ocasionada no Baixo Rio Doce gerou interferências climáticas e hidrográficas na região de Colatina, contribuindo para a predominância de altas temperaturas e para a escassez hídrica em alguns meses. Ainda, conforme apresentado nos estudos de Oliveira (2023), Oliveira e Bonatto (2022) e Oliveira, Simões e Bonatto, (2022), a cidade

---

<sup>1</sup> Classificação fundamentada na relação entre vegetação natural e clima, juntamente com outros elementos, como temperatura e precipitação de determinada localidade. São definidas cinco regiões climáticas principais: tropical, árida, temperada, fria e polar, representadas, respectivamente, pelas letras maiúsculas – A, B, C, D e E. Esse sistema de classificação se subdivide em tipos e subtipos, sendo representados por letras minúsculas (Nascimento; Oliveira; Luiz; 2017).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

sofre com desastres geológicos e relacionados às águas urbanas, afetando 63% dos bairros da cidade. A Figura 32 traz as médias mensais de temperatura mínima, média e máxima, precipitação e umidade para Colatina, entre 1991 e 2021.

Figura 32 – Dados climatológicos de Colatina - 1991 a 2021

|                         | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ag   | Set  | Out  | Nov  | Dez  |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura média (°C)  | 25,0 | 25,9 | 25,6 | 24,5 | 22,8 | 21,8 | 21   | 21,5 | 22,7 | 23,9 | 24,3 | 25,1 |
| Temperatura mínima (°C) | 22,3 | 22,5 | 22,5 | 21,3 | 19,2 | 18,1 | 17,4 | 17,7 | 18,3 | 20,3 | 21,1 | 22   |
| Temperatura máxima (°C) | 30   | 30,3 | 30,1 | 28,7 | 27   | 26   | 25,6 | 26,4 | 27,9 | 28,1 | 28,4 | 29,3 |
| Chuva (mm)              | 118  | 75   | 101  | 53   | 25   | 16   | 16   | 17   | 28   | 70   | 101  | 177  |
| Umidade(%)              | 77%  | 76%  | 78%  | 78%  | 75%  | 76%  | 76%  | 72%  | 69%  | 70%  | 70%  | 78%  |
| Dias chuvosos (d)       | 10   | 9    | 11   | 7    | 4    | 3    | 3    | 4    | 4    | 7    | 11   | 12   |
| Horas de sol (h)        | 7,5  | 7,9  | 7,3  | 6,7  | 5,0  | 5,4  | 5,4  | 5,5  | 5,4  | 5,6  | 6,6  | 6,8  |

Fonte: Climate-data (2022).

A análise da figura reforça o fato de que no inverno a precipitação é menor, bem como a temperatura, sendo o mês de julho o mais frio da série histórica. O verão apresenta os maiores índices de pluviosidade e as maiores temperaturas, com destaque para o mês de fevereiro. Ressalta-se que o gráfico apresenta os valores médios referentes às variáveis analisadas. Contudo, é preciso entender que essas temperaturas tendem a oscilar, conforme é apresentado nos estudos de Amorim *et al.* (2020), na Figura 33. Para ilustrar a distribuição dos pontos de estudos, a Figura 34 mostra sua localização.

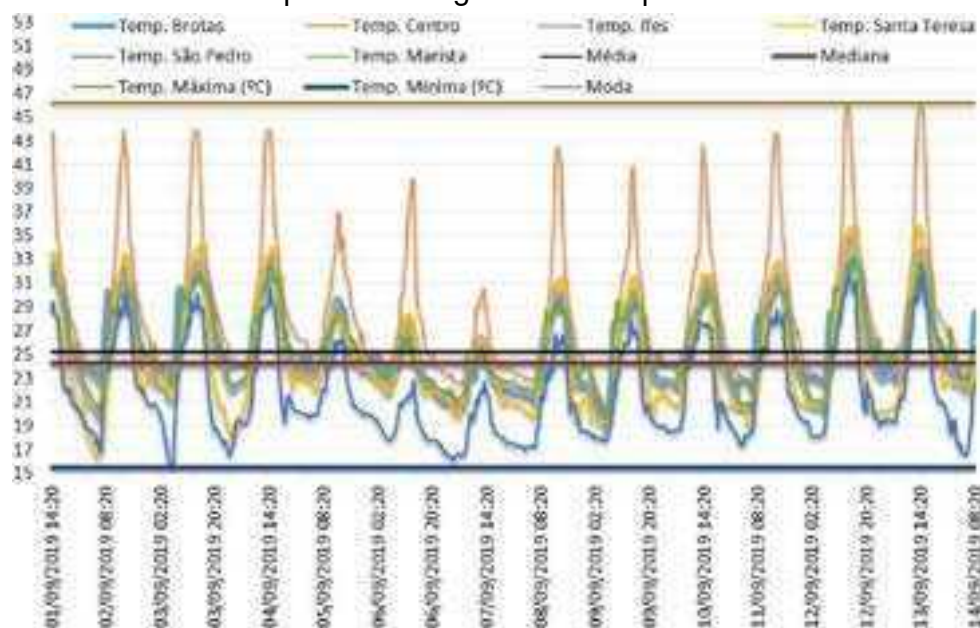
Pela Figura 33, verifica-se que a região central apresentou os maiores valores de temperatura. Isso está associado à densidade construtiva, à influência de condensadoras de ar e à escassez de arborização urbana, impactando negativamente o microclima (Amorim *et al.*, 2020). O Bairro Moacir Brotas e o Ifes estão mais distantes da região central e adensada, são mais arborizados e possuem menos edifícios verticalizados. Além do mais, o bairro Moacir Brotas está localizado em região de maior altitude, contribuindo para o registro de temperaturas mais amenas. O bairro Marista, mesmo localizado próximo ao centro, apresentou temperaturas mais baixas, sofrendo influência do Rio Santa Maria do Doce (Amorim *et al.*, 2020).

Já os pontos analisados na zona rural, São Pedro Frio e São João de Petrópolis, apresentaram valores de temperatura mais amenos. Isso se deve, principalmente, ao fato de apresentarem bastantes áreas permeáveis, com poucas construções, abundância de ventilação e arborização. Além disso, São João de Petrópolis está

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

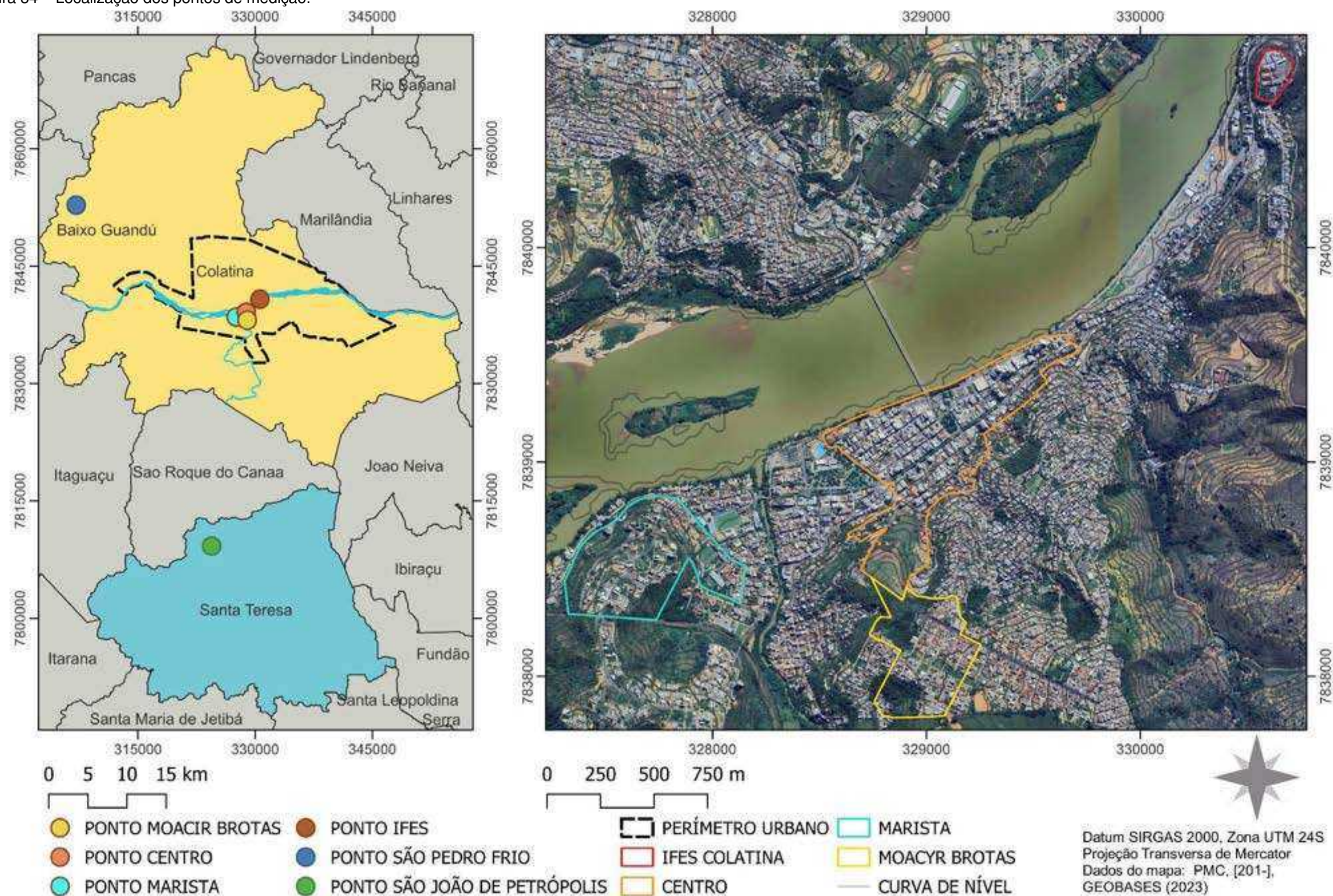
localizado em uma região de altitude mais elevada em relação à Colatina, contribuindo para temperaturas mais baixas (Amorim *et al.*, 2020). Ressalta-se que a amplitude dos valores obtidos foi influenciada por fatores geográficos como a altitude dos pontos analisados e pelo fato de Colatina ser uma cidade assentada em fundo de vale, fator evidenciado nos estudos de Silva, Fialho e Alves (2012).

Figura 33 – Gráfico das temperaturas registradas em pontos medidos da cidade



Fonte: Amorim *et al.* (2020), p. 61.

Figura 34 – Localização dos pontos de medição.



Fonte: Amorim et al. (2020); PMC [201-]; GEOBASES (2023). Elaborado pelo autor, 2024.

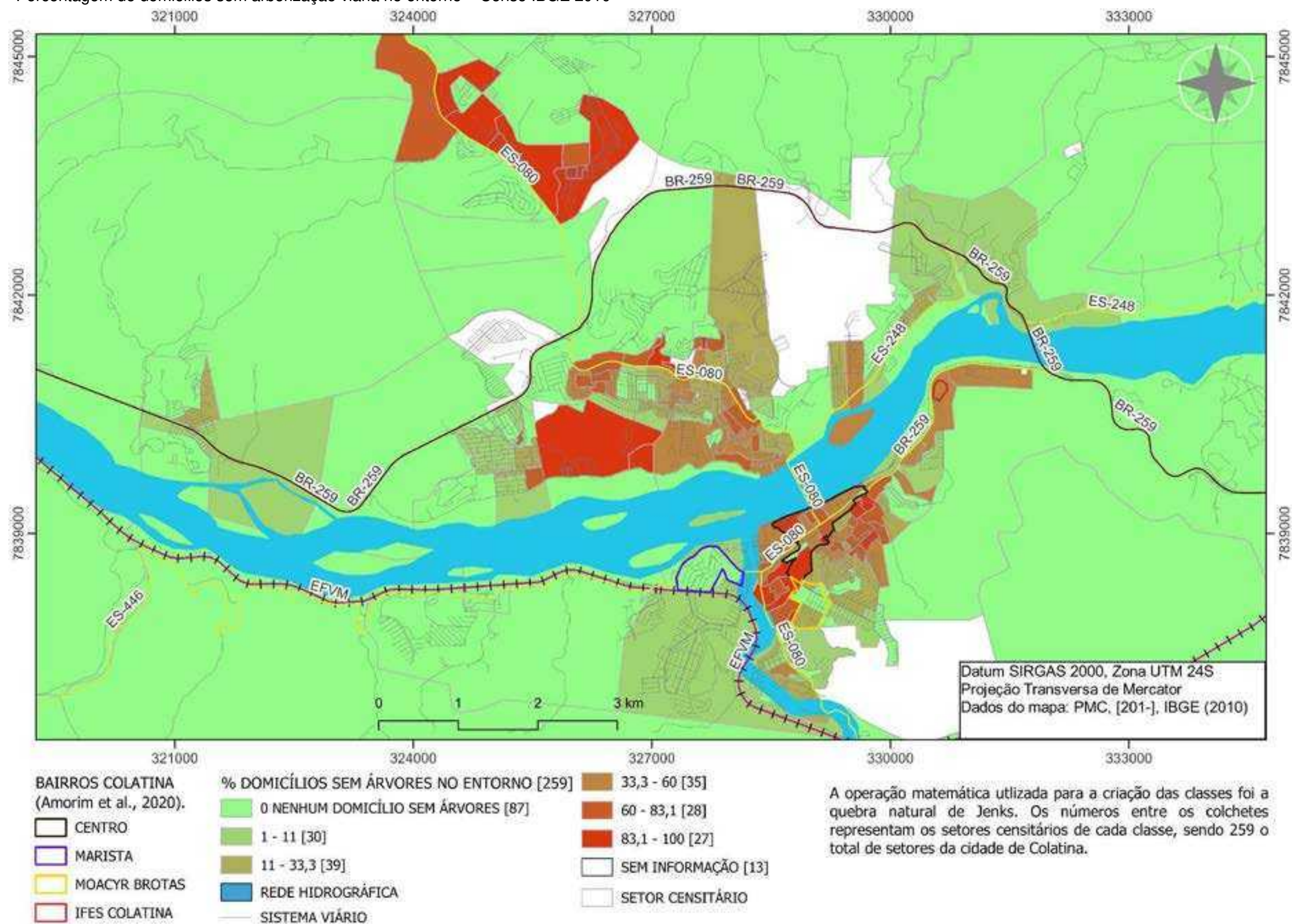
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Levando o exposto em consideração, mapeou-se a situação da arborização viária próxima aos domicílios particulares permanentes através dos dados do Censo IBGE 2010<sup>1</sup> (Figura 35). Esta análise se concentra na mancha urbana e permite averiguar se existe ou não a presença de arborização viária nos setores censitários, indicando as áreas mais frágeis. Ressalta-se que o município não dispõe de base georreferenciada (*shapefiles* de árvores), nem consta no *Open Street Map*.

---

<sup>1</sup> Para a elaboração deste mapeamento, utilizou-se o plugin do Censo IBGE 2010 instalado no *software* Qgis. As variáveis utilizadas para compor o mapa encontram-se na tabela nomeada “Arquivo Entorno 01”, sendo elas: “V001: Domicílios particulares permanentes: Entorno01”; “V045: Domicílios particulares permanentes próprios – Não existe arborização: Entorno01”; “V047: Domicílios particulares permanentes alugados – Não existe arborização: Entorno01” e “V049: Domicílios particulares permanentes cedidos – Não existe arborização: Entorno01”. O cálculo para a operação se deu com a soma das variáveis “V045”, “V047” e “V049” e posterior divisão pela variável “V001”. Os dados utilizados são do Censo IBGE 2010, já que os dados mais recentes ainda não estão disponíveis.

Figura 35 – Porcentagem de domicílios sem arborização viária no entorno – Censo IBGE 2010



Fonte: Censo IBGE, 2010, mapa organizado pelo autor, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o mapa anterior, percebe-se que muitos domicílios das áreas urbanas não possuem arborização viária em seu entorno. Essa situação acontece principalmente nas regiões mais adensadas e centrais da cidade. Além disso, são regiões comerciais e que apresentam fluxo intenso de veículos, aumentando a quantidade de poluentes na localidade. Essa situação agrava o fenômeno das ilhas de calor contribuindo para o desconforto térmico sentido pelos cidadãos.

Ademais, fica evidente a fragilidade da cidade em relação à presença de espaços arborizados que contribuem positivamente com diversos serviços ecossistêmicos. Pessim e Bonatto (2022) evidenciaram que a cidade dispõe de espaços passíveis de serem arborizados e, conseqüentemente, podem contribuir para aumentar a captura de carbono e a melhoria do microclima. Tal problema se relaciona diretamente com os valores de temperaturas mais elevados obtidos pelos estudos de Amorim *et al.* (2020) para a região central.

No subcapítulo adiante, é feita uma investigação da caracterização socioeconômica de Colatina, analisando os fatores influentes da dinâmica social e econômica da cidade. As análises se concentram nas variáveis de renda, raça, densidade populacional, principais atividades econômicas, Produto Interno Bruto (PIB), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

##### 4.1.4 Caracterização socioeconômica de Colatina

Colatina se destaca no cenário regional por sua posição estratégica. A cidade serve como um centro de comércio e serviços para diversos municípios vizinhos. Essa centralidade se deve a diversos fatores, como a presença de importantes rodovias (BR 259 e ES 080), a Estrada de Ferro Vitória-Minas e infraestrutura urbana completa (Albani; Assis 2020).

A cidade é um importante polo comercial para a região, com a presença de lojas de diversos segmentos, desde grandes redes varejistas até pequenos estabelecimentos locais, indústria de vestuário, moveleira e metalúrgica. Além disso, também se destaca como um centro de prestação de serviços, especialmente nas áreas de saúde e educação (Albani; Assis 2020; Albani; Miranda, 2013). Em 2021, Colatina se destacou como a 15ª economia do Espírito Santo, com um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.228.584.941,16. Na época, os trabalhadores formais possuíam salário médio mensal de dois salários mínimos.

Colatina apresentou, em 2010, um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,746, considerado alto para o padrão brasileiro (IBGE, 2022). O IDHM de Colatina indica que o município apresenta um bom nível de desenvolvimento humano, quando comparado a outros municípios brasileiros. É importante ressaltar que, embora Colatina se encontre em uma posição mediana no *ranking* nacional relacionado ao IDHM, ainda há desafios a serem contornados para se alcançar um índice desenvolvimento humano maior.

O desenvolvimento econômico de Colatina foi acompanhado por uma significativa expansão urbana. A cidade se expandiu em todas as direções, com a construção de novos bairros e loteamentos. Essa expansão, embora pareça positiva do ponto de vista econômico, gerou grandes desafios urbanos e a necessidade de investimentos em infraestrutura, como transporte público, saneamento básico e educação, e a crescente demanda por serviços públicos de qualidade, como saúde e segurança. Nesse processo de expansão, é possível verificar, ao realizar a espacialização de dados abertos do IBGE (2010), a presença de desigualdades no território Colatinense.

O mapa de densidade populacional de Colatina (Figura 36), com dados preliminares do Censo 2022, fornece uma visão espacializada da distribuição da população no município. A análise da densidade populacional é um instrumento fundamental para o planejamento urbano, pois permite identificar áreas com diferentes concentrações populacionais e suas implicações para a infraestrutura, serviços públicos e políticas sociais.

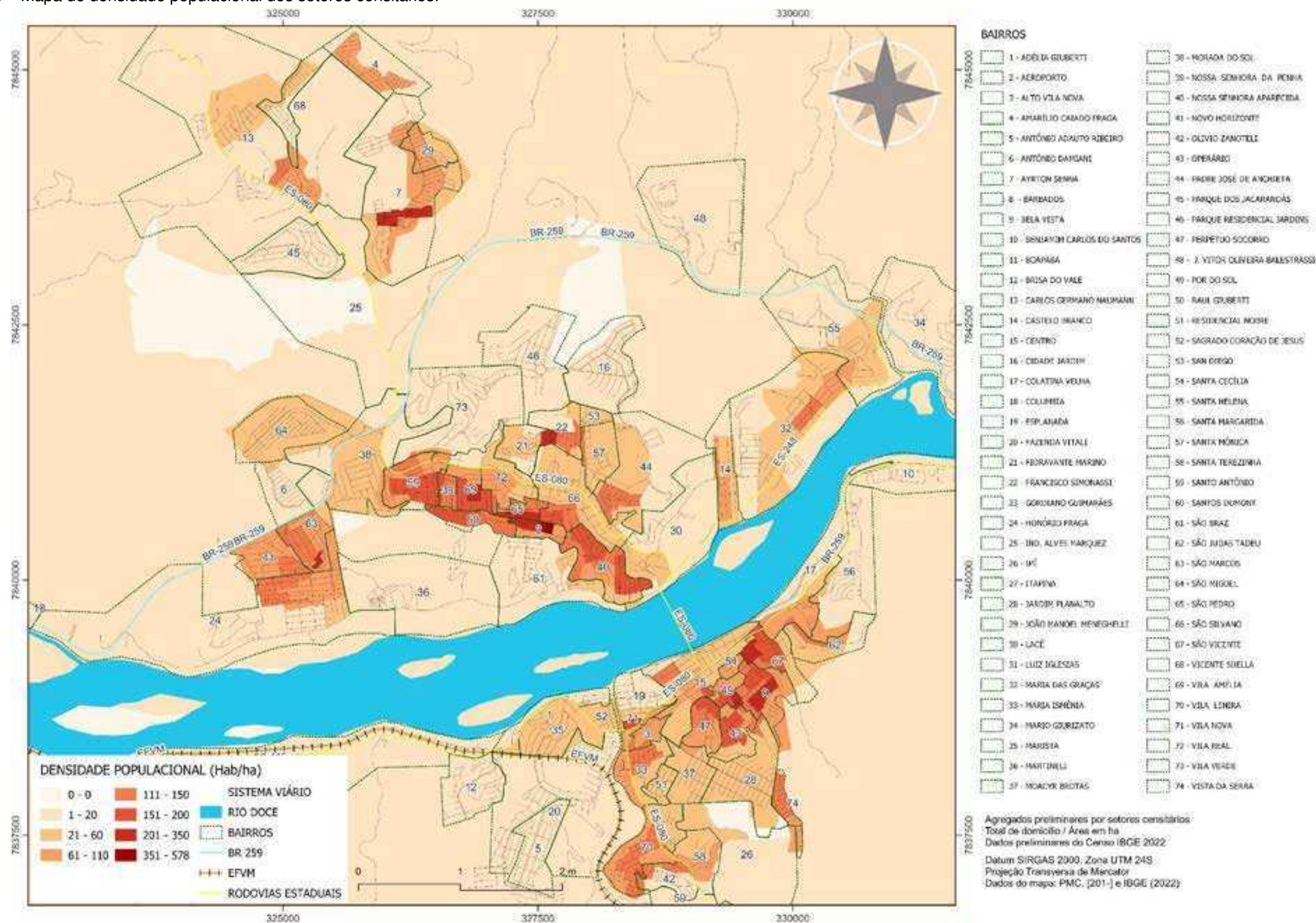
O mapa revela uma distribuição espacial heterogênea da população em Colatina. Observa-se uma concentração populacional mais elevada na área central da cidade. No lado sul, os bairros que possuem maior densidade são o Centro, São Vicente, Santa Cecília, Pôr do Sol, Perpétuo Socorro, Operário e Bela Vista. Essa concentração pode ser explicada por diversos fatores, como por exemplo, a presença de comércio, serviços, infraestrutura urbana consolidada e histórico de ocupação (Figura 37).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No lado norte, as maiores densidades são verificadas nos bairros Nossa Senhora Aparecida, Aeroporto, São Silvano, São Pedro, Santos Dumont, Francisco Simonassi, Vila Real, Vila Amélia, Nossa Senhora da Penha, Santo Antônio, Honório Fraga, Novo Horizonte e São Marcos. Esses bairros são majoritariamente residenciais e estão localizados em áreas de relevo acidentados, visto que no período de ocupação do lado norte da cidade, as áreas planas eram escassas.

Conforme evidenciado no mapa da Figura 36, as áreas densamente povoadas se concentram na mancha urbana. À medida que se analisam áreas que se afastam dessas regiões, a densidade populacional diminui consideravelmente nos bairros, particularmente nas margens da mancha urbana. Além disso, a análise do mapa revela a existência de bairros de baixa densidade situados nas áreas de expansão resultantes de novos loteamentos. Essa observação suscita questionamentos sobre a extensão do perímetro urbano, uma vez que a mancha urbana não acompanhou esse crescimento, nem a densidade dos bairros. Na Figura 37 são exemplificados bairros com alta e baixa densidade em Colatina.

Figura 36 – Mapa de densidade populacional dos setores censitários.



Fonte: Censo IBGE, 2022. Mapa organizado pelo autor, 2023.

Figura 37 – Exemplos de localidades com alta e baixa densidades



Fonte: Google Earth, 2023.

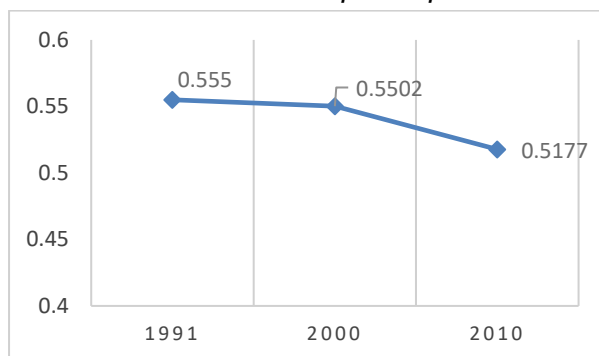
Quando as análises são voltadas para os dados de renda, observa-se uma concentração de maior renda próxima ao Rio Doce, centro e bairros no entorno imediato, conforme Figura 38. As populações de renda mais baixa estão alocadas em bairros mais distantes da região central e, conseqüentemente, distantes das ofertas de serviços básicos de saúde, educação e oportunidades de empregos. Além disso, geralmente estão dispostas em regiões de declividade mais acentuada. Outra constatação que merece atenção é que as regiões com densidade populacional mais elevada não são as áreas com maior renda, deixando explícito o acúmulo de renda e desigualdade salarial.

O Gráfico 2 mostra o índice de Gini para Colatina nos anos de 1991, 2000 e 2010. Esse índice é um indicador utilizado para medir a desigualdade de renda em uma população.

Ele varia de zero a um, onde zero representa a perfeita igualdade (todos os indivíduos possuem a mesma renda) e um representa a máxima desigualdade (um único indivíduo concentra toda a renda), de acordo com Wolffenbüttel (2004). Um estudo realizado pelo Banco Mundial, em 2021, revelou que o Brasil possui um dos maiores Índices de Gini da América Latina. Isso significa que a distribuição de renda no Brasil é altamente desigual, com uma pequena parcela da população concentrando a maior parte da riqueza (Banco Mundial, 2022).

Pela análise do Gráfico 2, o Índice de Gini em 1991 era de 0,555, o que indica uma alta desigualdade de renda entre os trabalhadores formais de Colatina. Em 2000, o Índice de Gini apresentou um leve aumento, chegando a 0,5592. Já em 2010, apresentou uma queda mais significativa, atingindo 0,5177, indicando um avanço na redução da desigualdade de renda. O gráfico revela uma tendência decrescente do Índice de Gini entre 1991 e 2010, contudo, ainda elevado e revelando desigualdades na cidade.

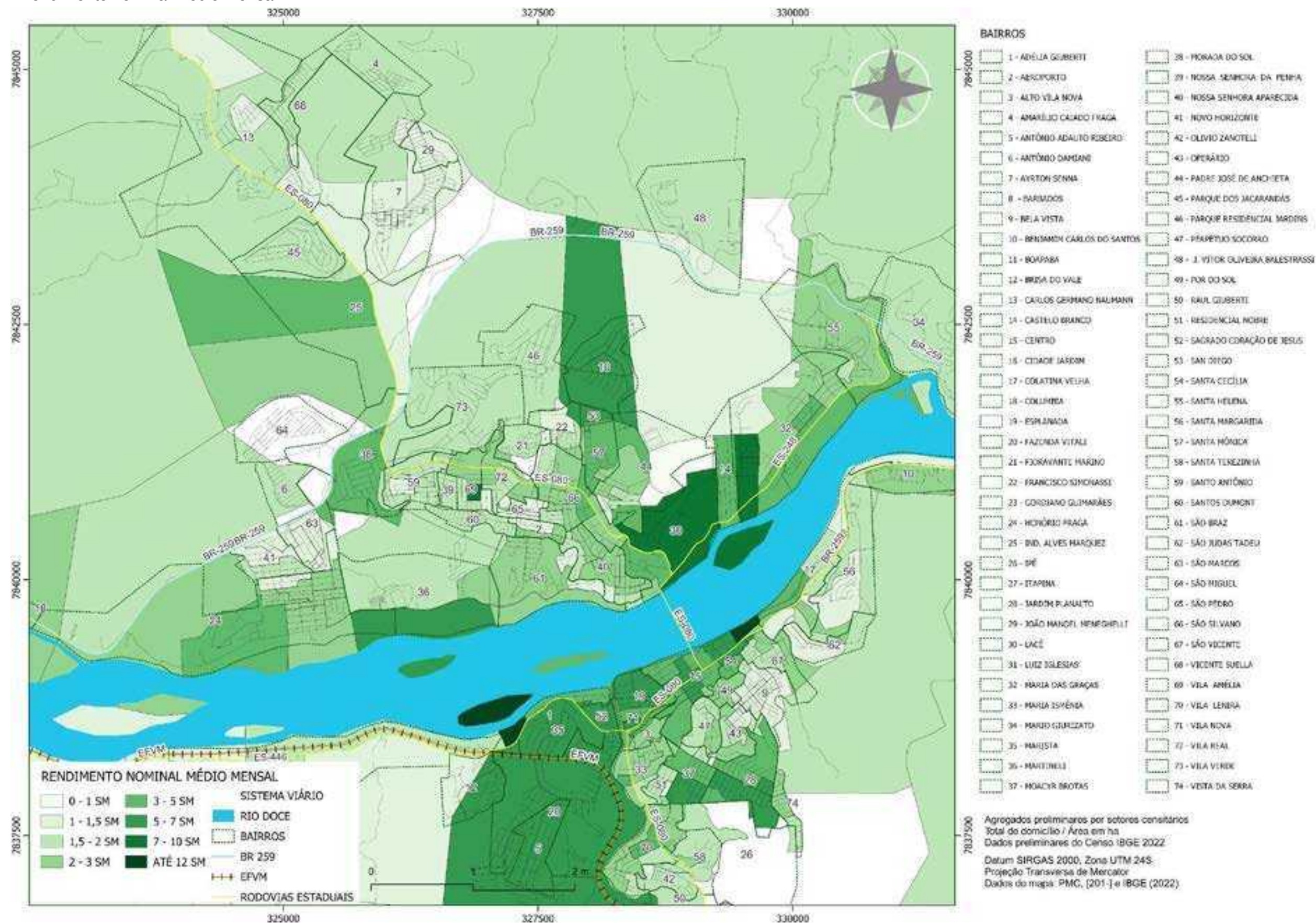
Gráfico 2 – Índice de Gini da renda domiciliar *per capita* em Colatina.



Fonte: IBGE, 2022. Elaborado pelo autor, 2024.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 38 – Rendimento nominal médio mensal.



Fonte: Censo IBGE, 2022. Mapa organizado pelo autor, 2023.

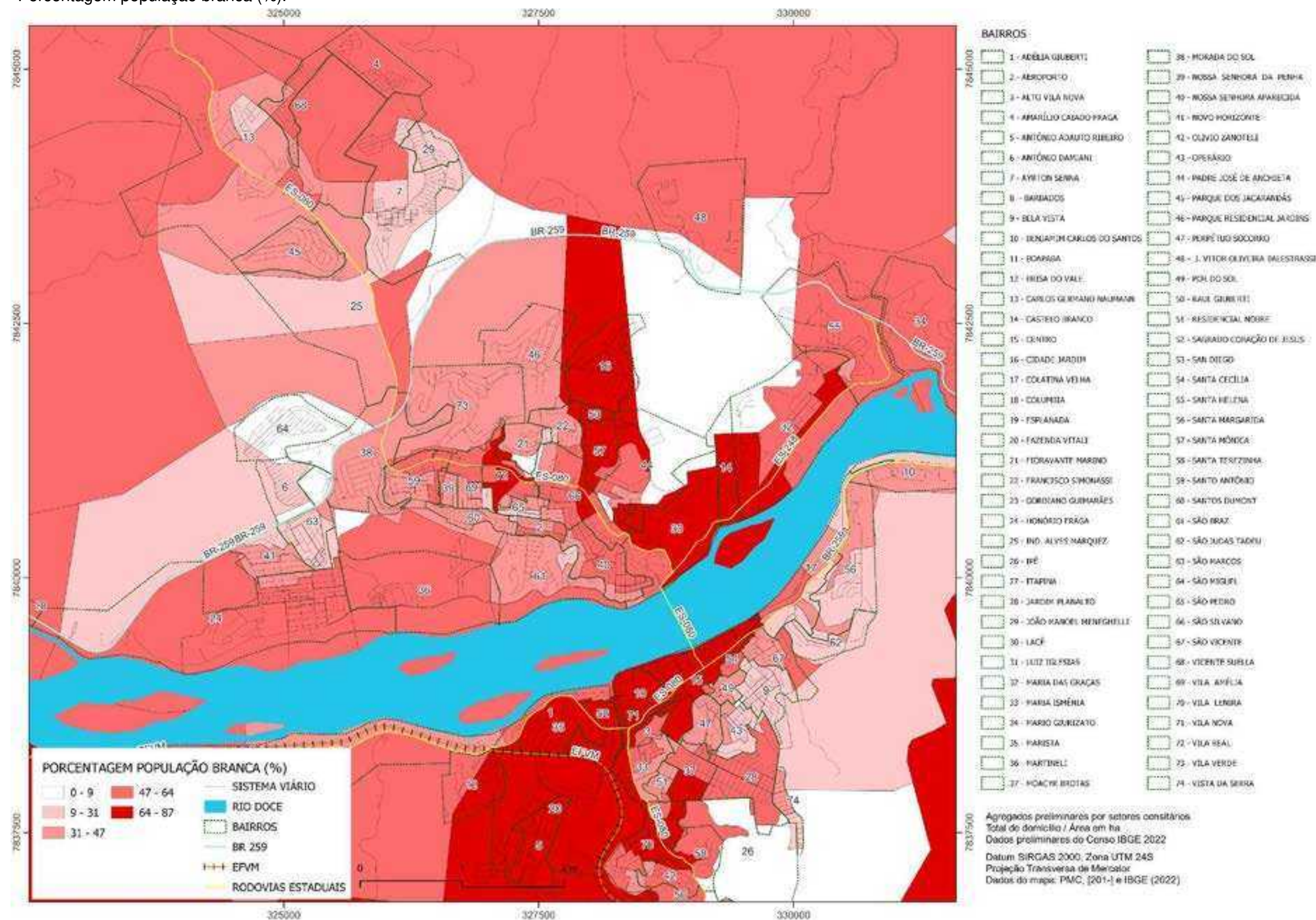
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a variável de cor ou raça com foco na população branca, preta e parda, também foi possível verificar desigualdades quando se especializaram os dados. A população branca é dominante nas regiões centrais e bairros próximos ao Rio Doce (Figura 39). Ainda, percebe-se que essa população está alocada nas áreas de maior rendimento médio e com mais ofertas de emprego, lazer e serviços de saúde e educação.

Já as populações preta e parda, analisadas conjuntamente nesse estudo, estão localizadas em bairros mais afastados da região central e com menos oferta de empregos e serviços públicos básicos, conforme Figura 40. Também estão nas áreas de menor rendimento nominal médio, deixando evidente que essa população apresenta renda mais baixa e situa-se distante das áreas bem servidas de emprego, lazer, e serviços públicos.

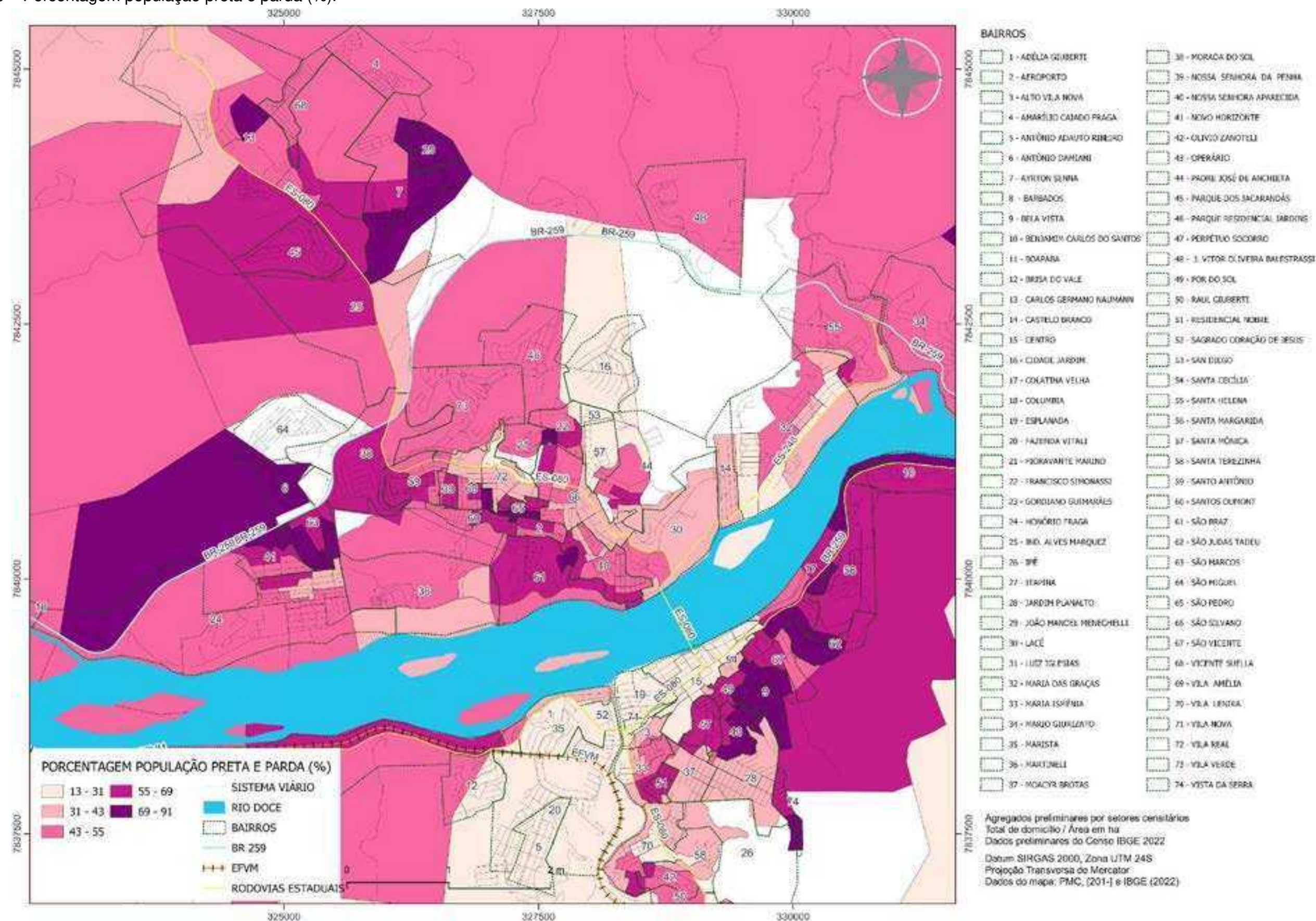
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 39 – Porcentagem população branca (%).



Fonte: Censo IBGE, 2022. Mapa organizado pelo autor, 2023.

Figura 40 – Porcentagem população preta e parda (%).



Fonte: Censo IBGE, 2022. Mapa organizado pelo autor, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Colatina se destaca como um importante centro regional, impulsionada por sua posição estratégica e infraestrutura. A cidade apresenta um panorama econômico positivo, com diversificação em diferentes setores e indicadores que apontam para um bom nível de desenvolvimento humano. No entanto, a análise espacializada dos dados revela desafios socioespaciais que exigem atenção e ações estratégicas.

A distribuição populacional e da renda apresenta forte correlação, com as áreas centrais concentrando maior densidade populacional e renda mais alta. As áreas periféricas, por sua vez, apresentam menor densidade, renda mais baixa e acesso limitado a serviços públicos. A análise por cor ou raça evidencia a concentração da população branca nas áreas centrais e de maior renda, enquanto as populações preta e parda se distribuem em áreas periféricas com menor renda e acesso a serviços.

O subcapítulo a seguir aborda a classificação da paisagem, urbana e rural, da cidade de Colatina por meio do sistema de classificação de zonas climáticas locais (*LCZ*). Esse mapeamento agrega características como o uso e ocupação do solo, morfologia urbana, presença de vegetação e arranjo espacial das edificações, dentre outras. Dessa forma, é proposta uma classificação do espaço intraurbano sob o ponto de vista da climatologia.

##### 4.2 LOCAL CLIMATES ZONES (*LCZ*)

O sistema de *Local Climates Zones* proposto por Stewart e Oke (2012) fornece uma classificação da paisagem pautada na cobertura do solo, materiais construtivos, presença de vegetação e atividades humanas. Segundo os autores, o sistema apresenta uma resposta mais específica em relação à classificação da paisagem ao incorporar as características físicas do local. Dessa forma, mostra-se mais eficiente do que classificar a paisagem em urbana ou rural (Stewart; Oke, 2012). Além disso, o sistema apresenta fácil aplicabilidade e pode ser utilizado como base de comparação para estudos de clima urbano (Xie *et al.*, 2024; Stewart; Oke, 2012).

Neste trabalho, utilizou-se a ferramenta de classificação supervisionada *online* chamada *LCZ Generator* (Demuzere; Kittner; Bechtel, 2021). O sistema fornece 17 classes para classificar a paisagem, levando em consideração a altura dos edifícios

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

(baixos, médios e altos), materiais de construção, cobertura do solo, arranjo físico-espacial (aberto, esparso e denso) e presença de arborização, conforme Figura 41. Essas propriedades influenciam no campo térmico, absorção de radiação, na umidade do ar e no fluxo de ventos (Stewart; Oke, 2012).

Figura 41 – Componentes da Paisagem urbana e rural das LCZs



Fonte: *World Urban Database and Access Portal Tools* (2023). Organizado pelo autor, 2024.

O sistema propõe que qualquer paisagem do planeta pode ser classificada. Contudo, é esperado que existam limitações, principalmente em função da diversidade e particularidade de cada área, urbana ou rural. Apesar disso, o sistema é amplamente utilizado nos estudos de clima urbano e validado pela comunidade científica (Xie *et al.*, 2024; Stewart; Oke, 2012).

Conforme descrito no capítulo de metodologia, o processo de classificação se inicia conhecendo o campo teórico acerca das LCZ's. Para isso, foram utilizadas as instruções disponibilizadas no site do WUDAPT<sup>1</sup> e as fichas produzidas na tese de doutoramento do Dr. Iain Douglas Stewart a qual fornece parâmetros para auxiliar na classificação das LCZ's. Logo após, deu-se início à criação das Áreas de Treinamento (ATs) no *Google Earth Pro*. A etapa de criação das ATs é extremamente importante na

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.WUDAPT.org/>

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

elaboração dos mapas de *LCZ's*, pois tais áreas fornecem a base de informações para que o classificador *online* realize o mapeamento.

Ressalta-se que, além das fichas da tese do Dr. Stewart e dos materiais disponibilizados no site do *WUDAPT*, foram realizadas visitas de campo e análises no *Google Earth Pro*, com o intuito de conhecer as particularidades de cada região dentro do recorte territorial estabelecido. Diante dessas informações, realizou-se a criação da ROI (*Region Of Interest*, ou Região de Interesse, no português) e das áreas de treinamento no *Google Earth Pro*, seguindo os parâmetros fornecidos na literatura e que foram abordados no capítulo de método. Na Figura 42 são apresentadas as ATs na cidade de Colatina.

Percebe-se que nem todas as 17 classes de *LCZ's* foram encontradas no recorte territorial. Como o sistema é generalista e visa uma classificação global da paisagem, muitas categorias não se aplicam à Colatina em função do porte da cidade e da cobertura vegetal predominante. Além disso, conforme sugerido pelo protocolo *WUDAPT*, são necessárias pelo menos cinco áreas de treinamento de cada classe para que a ferramenta *online* consiga realizar a classificação de maneira correta e eficiente.

Figura 42 – Áreas de Treinamento em Colatina.



Fonte: Google Earth, 2023, mapa organizado pelo autor, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

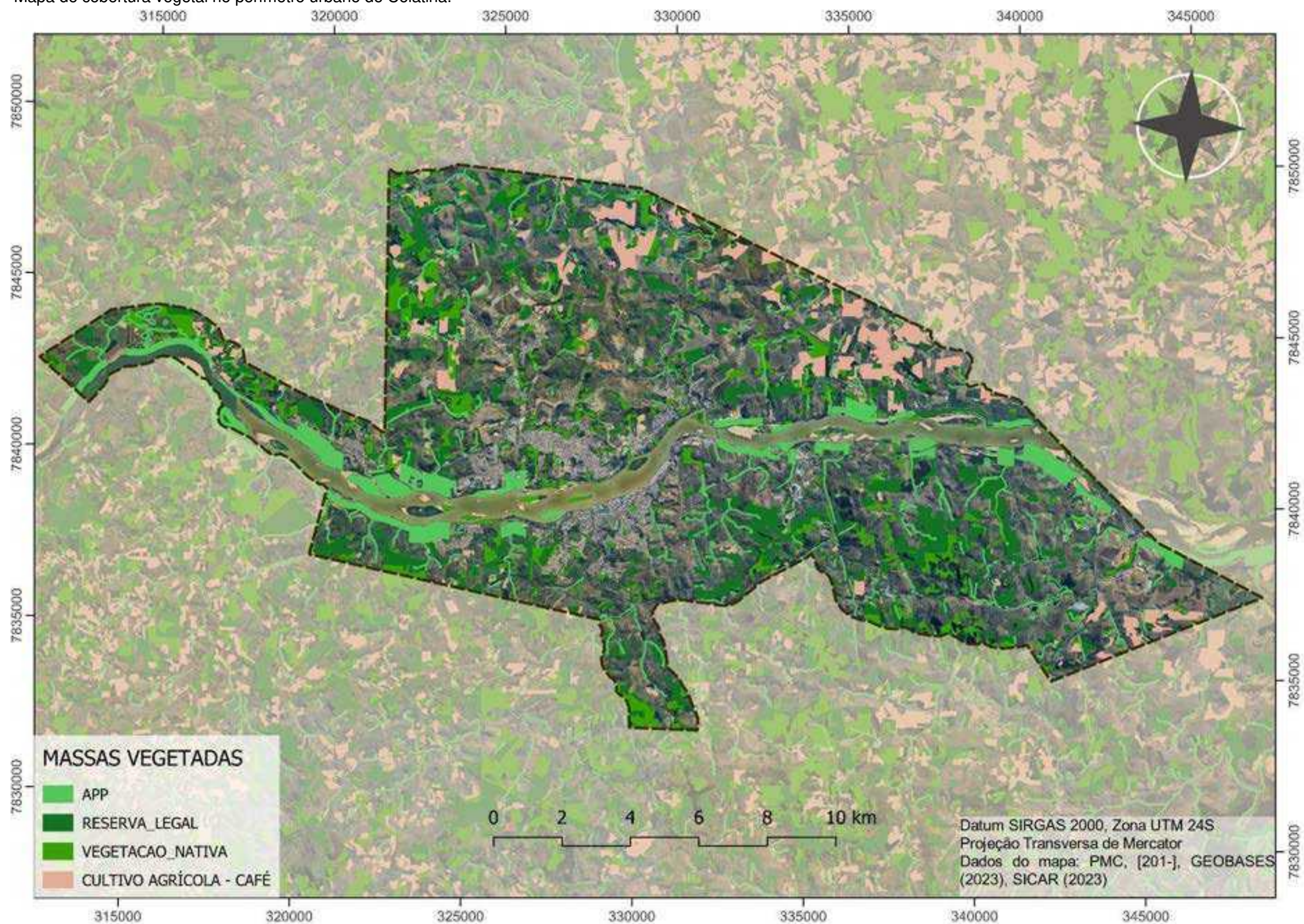
De posse dessas informações, verificou-se durante a criação das ATs que algumas classes não poderiam ser classificadas, ou seriam sub-representadas, em função do número reduzido de ATs. Essa situação foi pontuada por Demuzere, Kittner e Bechtel (2021), Werneck (2022) e Verdonck *et al.* (2019), relatando que a baixa quantidade de ATs pode gerar um mapa de LCZ com baixa precisão na definição das zonas. Após a criação das ATs, é realizada a submissão no site da ferramenta *LCZ Generator*, onde são inseridas informações de dados pessoais e as ATs que foram criadas no *Google Earth Pro*.

Em seguida, uma mensagem indica se a operação foi realizada corretamente, em caso positivo, é dado seguimento no processo. Os dados de saída, ou seja, os produtos gerados pelo *LCZ Generator* são: mapa LCZ, com resolução espacial de 100 metros, arquivos vetoriais identificando as áreas de treinamento consideradas suspeitas e algumas estatísticas básicas como gráfico de quantitativo de áreas de treinamento e o teste de acurácia. O tempo de processamento dos dados no *site* do *LCZ Generator* leva em torno de vinte minutos, sendo disponibilizados no *e-mail* cadastrado e no site do aplicativo.

No caso de Colatina, foram realizados vinte e dois processos de classificação até se chegar em um mapa mais bem acurado. Em cada nova tentativa, foram feitas modificações das ATs suspeitas, visto que o classificador gera um arquivo com essas informações. Além disso, foram elaborados mapas de cobertura vegetal (Figura 43) e corpos d'água (Figura 44) para ajudar na classificação das áreas naturais e evitar possíveis confusões, sendo uma etapa fundamental para corrigir erros de classificações anteriores. Os mapas de massas d'água englobam rios, córregos, brejos e barragens feitas para armazenar água para a agropecuária.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

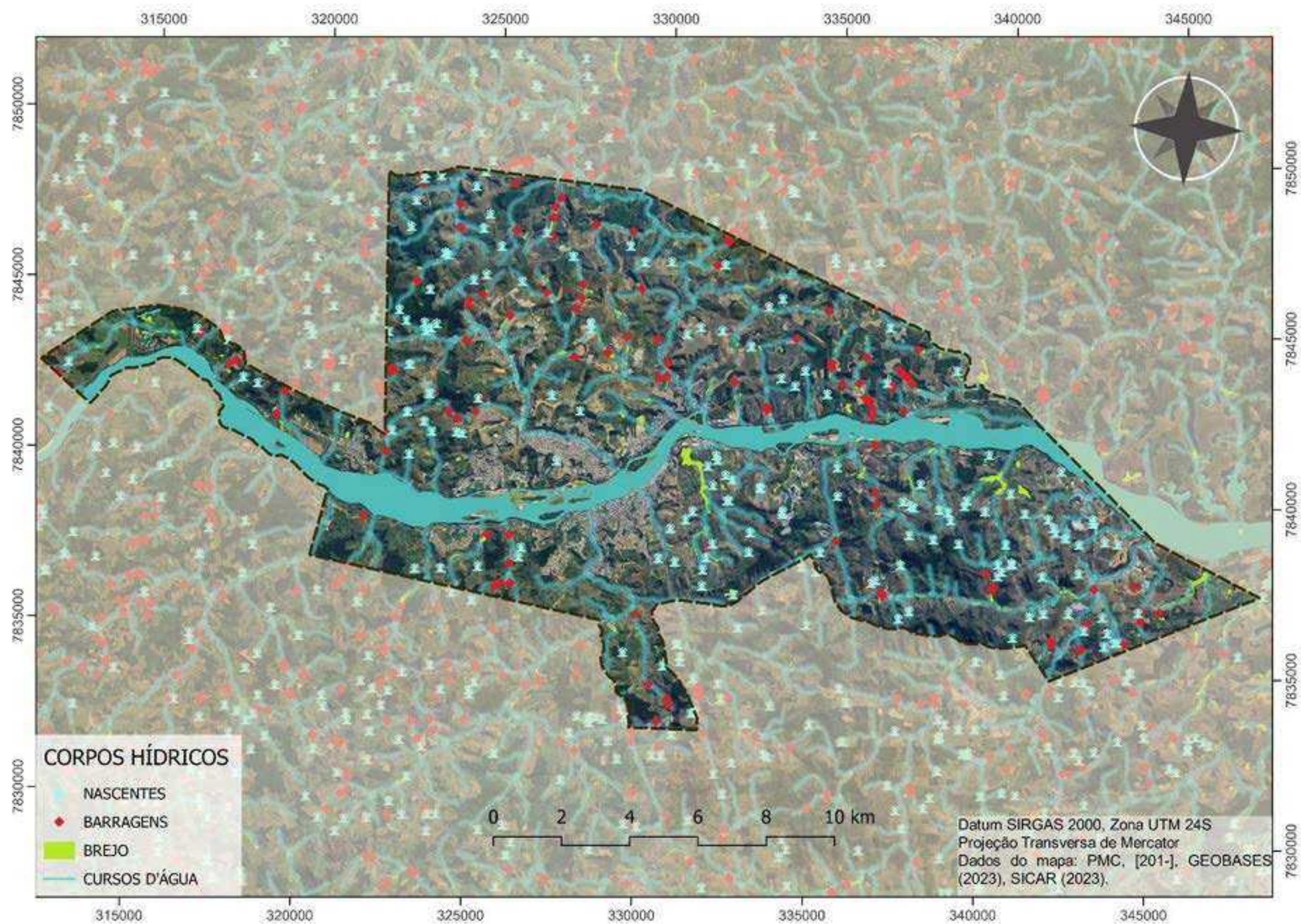
Figura 43 – Mapa de cobertura vegetal no perímetro urbano de Colatina.



Fonte: PMC [201-], GEOBASES, (2023), SICAR (2023), mapa organizado pelo autor, 2023.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 44 – Mapa de corpos d'água no perímetro urbano de Colatina.

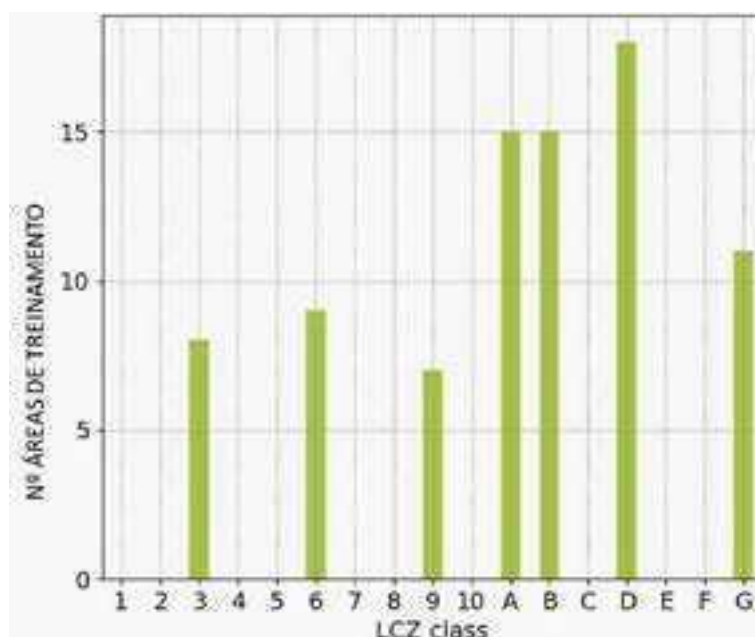


Fonte: PMC [201-], GEOBASES, (2023), SICAR (2023), mapa organizado pelo autor, 2024.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação que apresentou os melhores resultados de acurácia teve ao todo sete classes, sendo três urbanas e quatro naturais. É preciso ressaltar que nesse momento inicial de classificação existiram classes que não puderam ser identificadas em função das exigências para se criar as ATs, conforme o protocolo *WUDAPT*. A seguir, na Figura 45, é demonstrado o gráfico com as frequências das áreas de treinamento e suas respectivas classes.

Figura 45 – Quantitativo de áreas de treinamento



Fonte: *LCZ Generator*, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

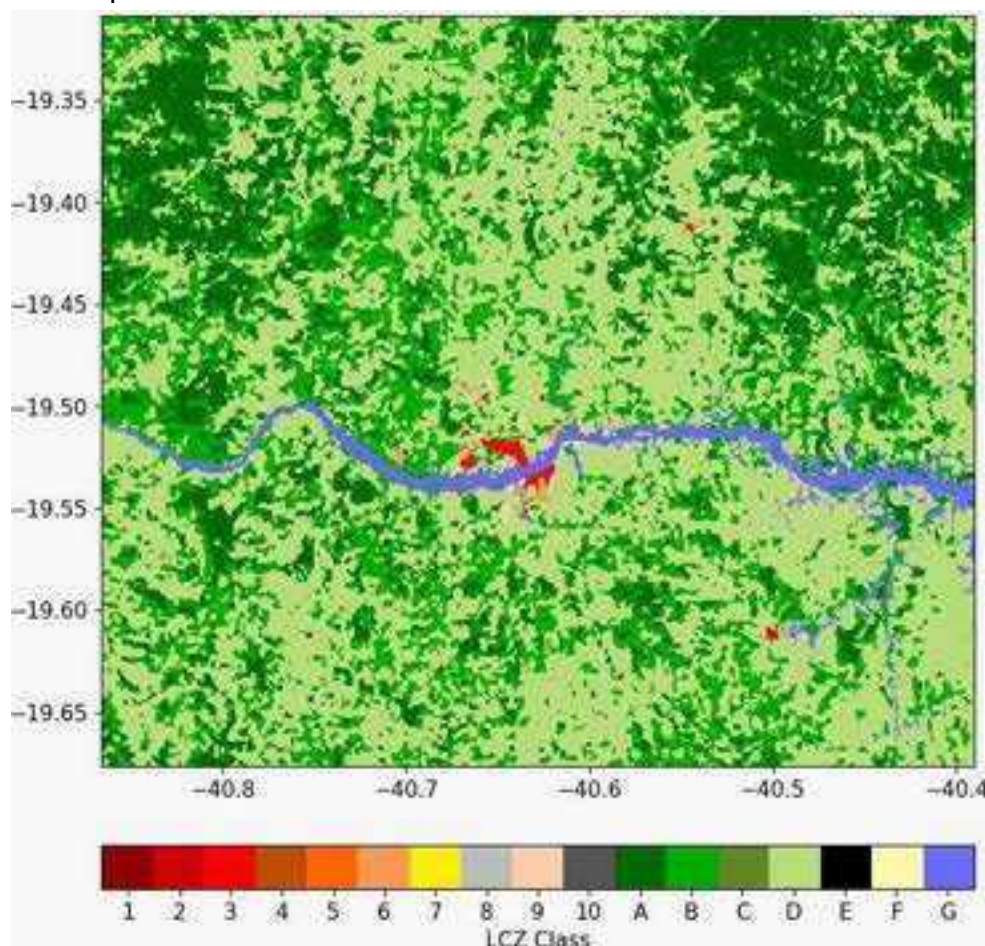
Nota-se que as classes naturais encontradas foram as *LCZ A*, *LCZ B*, *LCZ D* e *LCZ G*, todas com mais de dez ATs. Destaca-se que a *LCZ D* foi a classe com mais ATs, pois é abundante no recorte e facilmente encontrada. Essa classe engloba as pastagens e os cultivos agrícolas que dominam aproximadamente 52,18% do perímetro urbano. As classes urbanas encontradas foram a *LCZ 3*, *LCZ 6* e *LCZ 9*, todas com mais de cinco ATs cada.

Foi identificada uma diferença no quantitativo de ATs das classes urbanas em relação às classes rurais. No recorte específico desta pesquisa existe a predominância de terras de caráter rural em relação à porção de terra urbanizada. O perímetro urbano apresenta 253,11 km<sup>2</sup>, dos quais 9,08% representam a área urbanizada, aproximadamente

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

22,98 km<sup>2</sup>, enquanto o restante é referente a terras rurais. Isso é um aspecto necessário a ser discutido no sentido de combater a expansão do perímetro urbano. A Figura 46 mostra o mapa de *LCZ* feito pelo *LCZ Generator*.

Figura 46 – Mapa de *LCZ* de Colatina



Fonte: *LCZ Generator*, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

O recorte territorial está inserido na ROI, que engloba tanto áreas urbanas quanto rurais. Ressalta-se que o *LCZ Generator* adiciona um *buffer* de dez quilômetros em cada lado da ROI. Portanto, o mapa fornecido apresenta dimensões territoriais maiores que os dados de entrada inseridos pelo usuário. Além do mapa *LCZ*, o classificador fornece o gráfico de acurácia (gráfico de *Boxplot*), conforme Figura 47.

O gráfico permite avaliar a precisão de cada classe e possibilita a tomada de decisões para melhorar valores que sugerem incertezas no processo de classificação. Assim, se uma classe apresentar baixa acurácia, é possível analisar as ATs e realizar

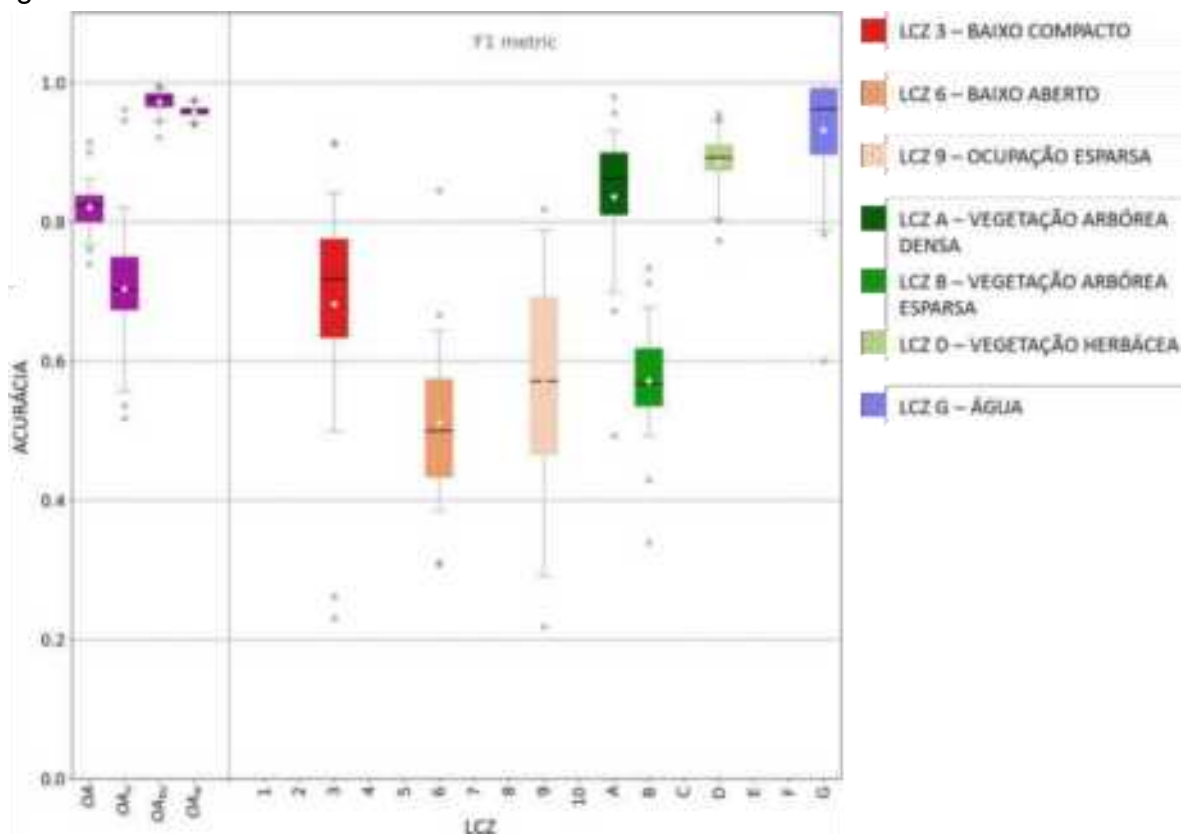
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

modificações, como a exclusão, modificação ou inserção de polígonos visando melhor resultado.

A acurácia geral (OA) da classificação foi de 82%, a qual se refere à porcentagem de pixels classificados corretamente, acima do valor de 50% recomendado por Bechtel *et al.* 2019. O valor se assemelha aos 78% encontrado por Werneck (2022) para a região metropolitana de Brasília e por Werneck e Romero (2022) que encontraram, também para Brasília, o valor de 73%.

Quando analisada a acurácia das classes urbanas ( $OA_u$ ), o resultado alcançado foi de 70%. Esse resultado se relaciona diretamente com a quantidade de ATs das LCZs 6 e 9, sendo as classes que apresentaram o menor número de ATs e, consequentemente, podem influenciar na acurácia da classe. Além disso, também são fornecidas a acurácia geral para classes urbanas *versus* naturais ( $OA_{bu}$ ) que foi 97% e, por fim, acurácia ponderada ( $OA_w$ ) marcando 96%.

Figura 47 – Gráfico de Acurácia



Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises demonstram que três classes de *LCZs* (A, D e G) apresentaram alta acurácia, acima de 80%, indicando confiabilidade na classificação. O desvio interquartil (IQR) baixo demonstra a consistência das previsões para essas classes. Além disso, a boa acurácia observada pode estar associada com a quantidade de ATs dessas classes, cada uma tendo 15, 18 e 17 respectivamente, conforme Demuzere, Kittner e Bechtel (2021) apontam em seus estudos.

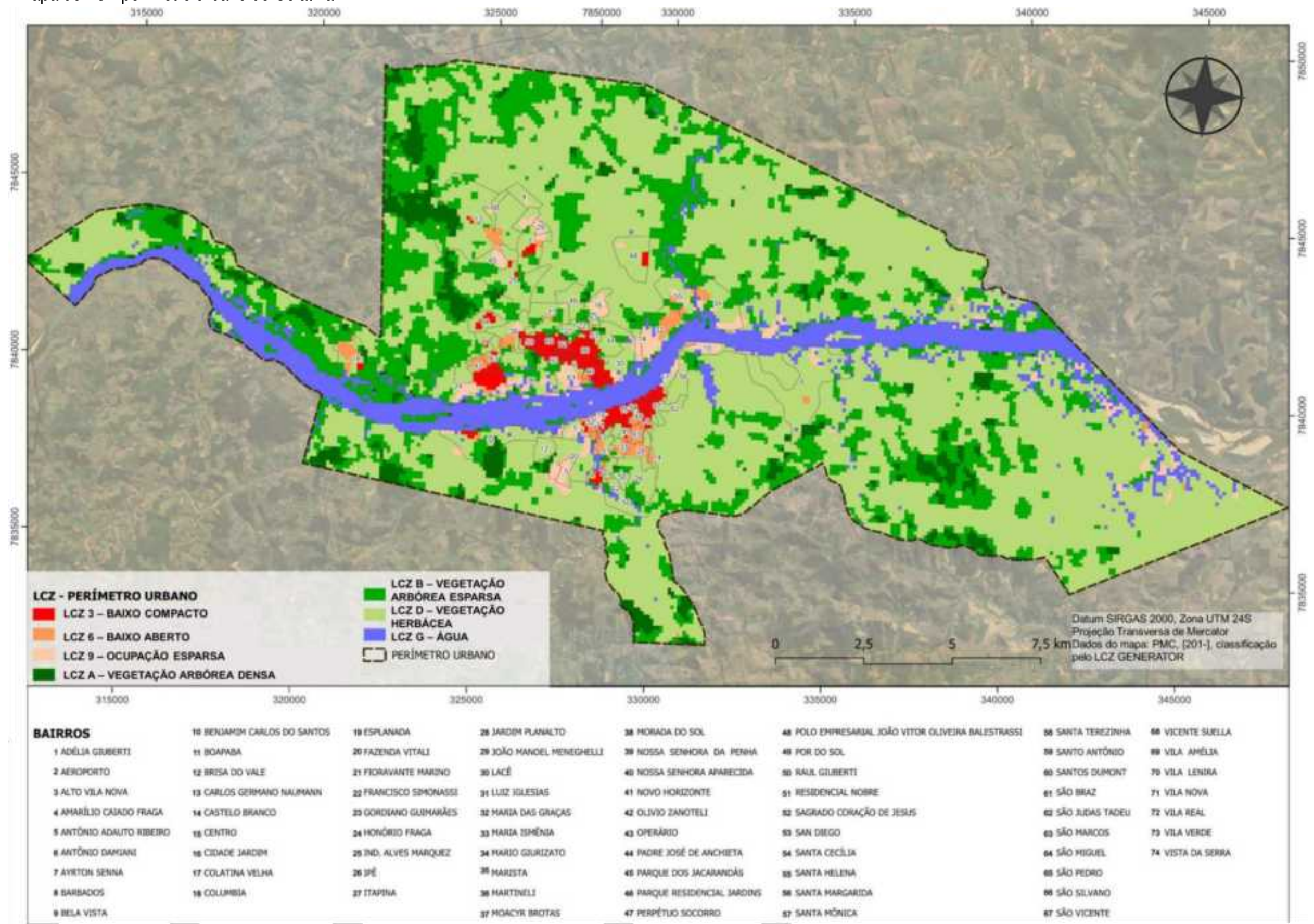
Três classes de *LCZs* (6, 9 e B) apresentaram acurácia entre 50% e 60%. O IQR mais amplo, verificado principalmente na *LCZ* 9, indica maior variabilidade. Amparado mais uma vez pelos estudos de Demuzere, Kittner e Bechtel (2021), verifica-se que esta *LCZ* apresentou o menor número de ATs, podendo impactar na precisão da classe. Durante o processo de criação das ATs, não foram encontradas muitas regiões homogêneas dessa classe para treinar o aplicativo.

A *LCZ* 3, com um total de 8 ATs, foi a classe urbana que apresentou a melhor acurácia, acima de 60%. Mesmo com um número relativamente baixo de ATs, ela apresentou bom desempenho quando comparada com outras classes urbanas, *LCZ* 6 e 9. Isso pode estar associado à criação das ATs. A *LCZ* 3 dispunha de mais áreas homogêneas para criar as ATs, seguindo o protocolo *WUDAPT*.

Chama-se atenção para a *LCZ* B que, apesar de ter 15 ATs, apresentou acurácia abaixo de 60%. Esse fato pode estar associado com o tamanho reduzido de algumas áreas ATs criadas para essa categoria. As ATs criadas seguiram a sugestão do protocolo *WUDAPT* de possuir no menor lado do polígono uma dimensão mínima de duzentos metros. Todavia, áreas muito pequenas podem ser interpretadas como suspeitas no processo de classificação de acordo com Demuzere, Kittner e Bechtel (2021).

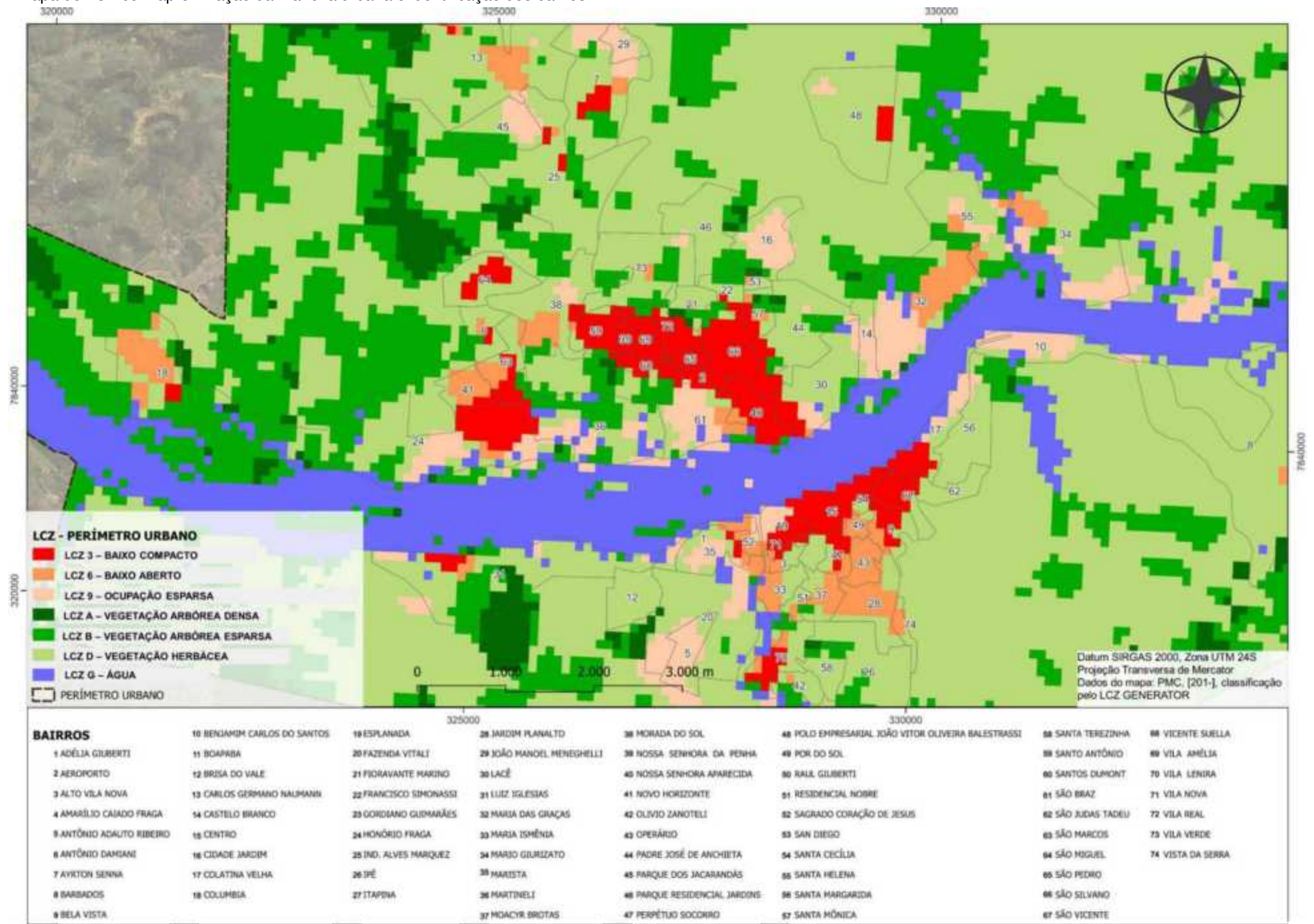
Ainda que a área de análise desta pesquisa se refira ao perímetro urbano de Colatina, o mapa de *LCZ* extrapola o limite da ROI com um *buffer* de 10 quilômetros. Visando concentrar as análises nessa região, realizou-se o recorte da imagem no formato *geotiff*, no limite do perímetro urbano, com a ferramenta “recortar”, no *software* Qgis. O novo mapa recortado de *LCZ* está representado na Figura 48. Dessa forma, as análises puderam ser focadas apenas no recorte estabelecido. Com o intuito de dar mais enfoque à mancha urbana, foi realizada uma ampliação (Figura 49).

Figura 48 – Mapa de LCZ perímetro urbano de Colatina



Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

Figura 49 – Mapa de LCZ com aproximação da mancha urbana e identificação dos bairros.

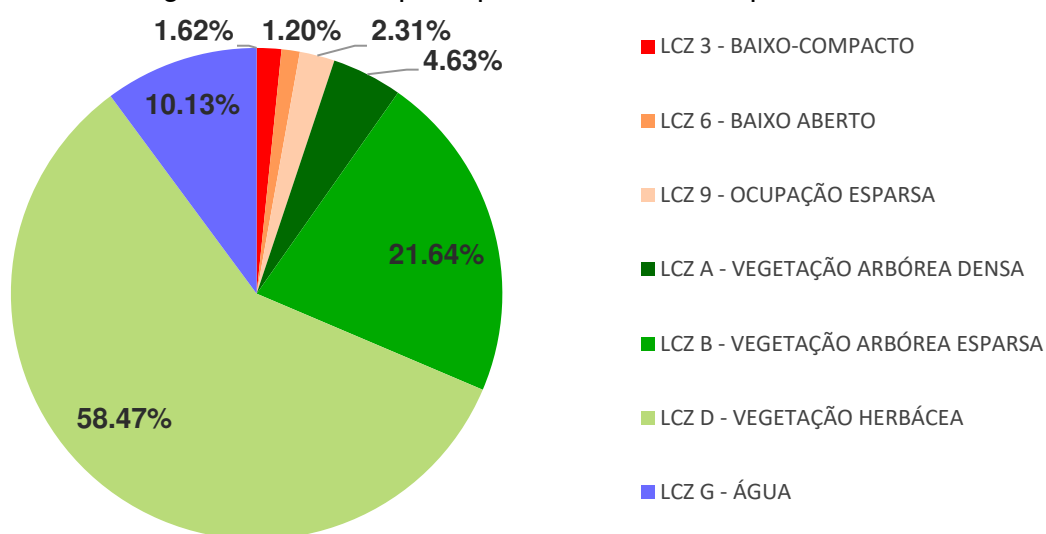


Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Grande parte do perímetro urbano é dominado pela *LCZ D* (vegetação herbácea), classe que engloba as pastagens e cultivos agrícolas. Nas classes urbanas há o predomínio da *LCZ 3* (baixo compacto), principalmente no lado norte da cidade nos bairros São Silvano, Nossa Senhora Aparecida, Aeroporto, São Pedro, Santos Dumont, Vila Real, Vila Amélia, Santo Antônio e Nossa Senhora da Penha. No lado sul há o predomínio nos bairros Colatina Velha, São Vicente, Centro, Esplanada, Perpétuo Socorro, Bela Voista e Vila Nova. A seguir, é apresentado o Gráfico 3, com as porcentagens de *LCZ* encontradas no perímetro urbano.

Gráfico 3 – Porcentagem de área ocupada por cada classe no perímetro urbano.

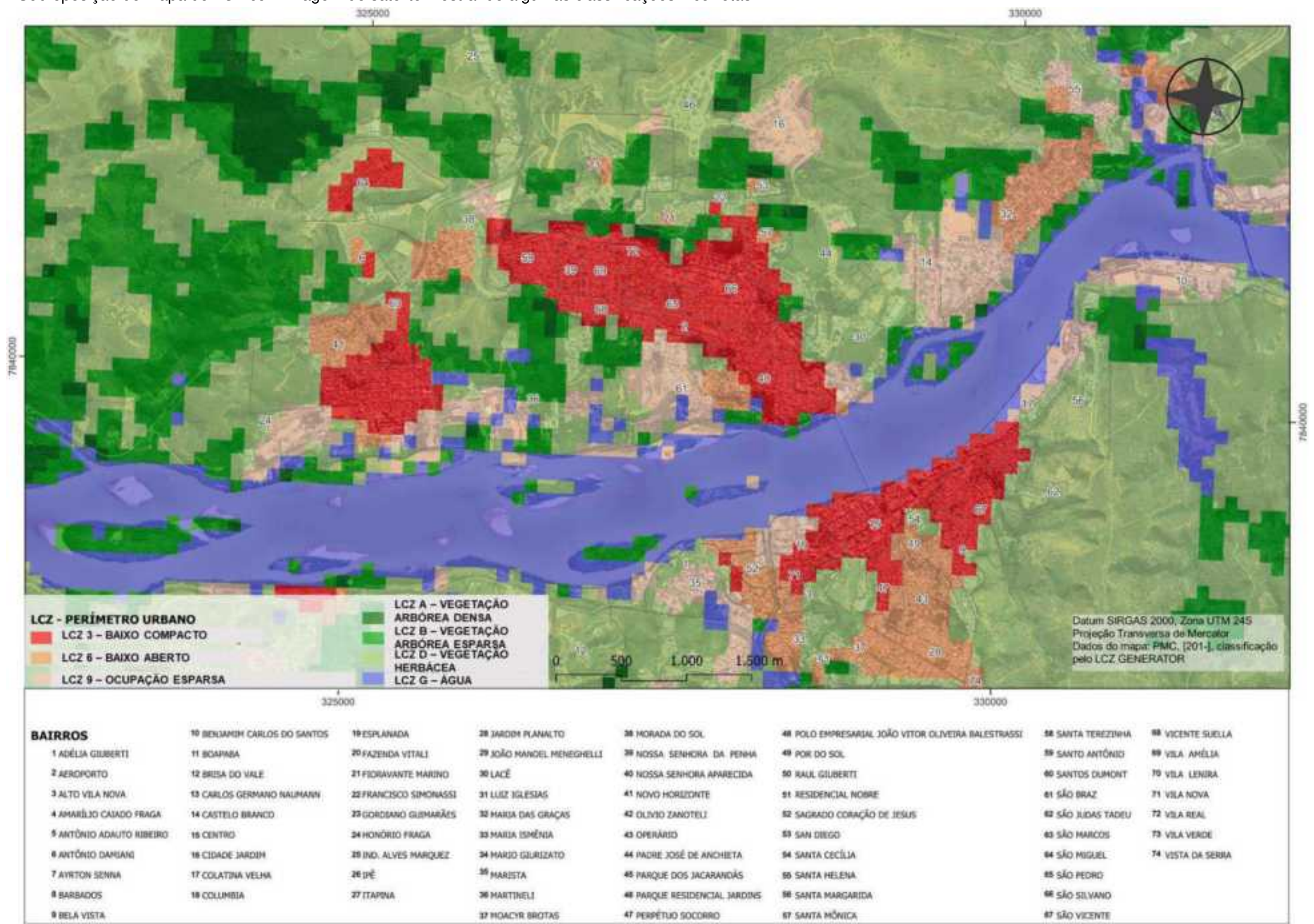


Fonte: *LCZ Generator*, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

Ao analisar o mapa de *LCZ* e comparando-o com imagens de satélite foi possível observar áreas de classificação incorreta. As classes rurais, apesar de apresentarem maior quantidade de AT, não ficaram isentas de pequenos erros de classificação. Apesar da boa acurácia, a classe G (água) também mostrou algumas incongruências, principalmente com a *LCZ D* (vegetação herbácea) e *LCZ B* (vegetação arbórea esparsa). Também verificou-se que a *LCZ A* (vegetação arbórea densa) apresentou pequenos erros de classificação, essa mais correlacionada com a *LCZ B*. Com o intuito de identificar os erros de classificação, foi feito um recorte sobrepondo o mapa de *LCZ* com imagem de satélite aproximando para a área urbanizada (Figura 50). Ressalta-se que o mapa possui transparência para facilitar o processo de observação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 50 – Sobreposição de mapa de LCZ com imagem de satélite mostrando algumas classificações incorretas.



Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021. Mapa apresenta transparência na camada de LCZ.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Figura 50, percebe-se que a classe urbana predominante é a *LCZ 9* (4,63%), seguida pela *LCZ 3* (1,62%) e *LCZ 6* (1,20%). Também foram verificados pequenos equívocos na classificação das *LCZ* urbanas, principalmente nos limites entre as classes e no encontro com as classes rurais. Essa última situação aconteceu principalmente com a *LCZ 9*, onde vários novos loteamentos foram classificados como *LCZ D* (58,47%), conforme Figura 51.

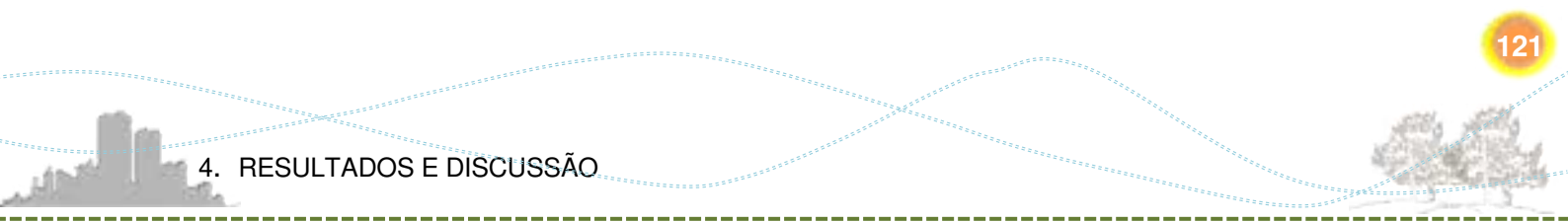
Figura 51 – Loteamentos classificados como *LCZ D*.



Fonte: *LCZ Generator*, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

Levando isso em consideração, realizou-se o processo de reclassificação manual das *LCZs* no *software* Qgis. Esse procedimento já havia sido indicado por Werneck (2022), onde mostrou a necessidade de readequar algumas pequenas classificações incorretas feitas pelo *LCZ Generator*. Para isso, a imagem *geotiff* fornecida pelo classificador foi convertida para um arquivo vetorial por meio da ferramenta nativa do Qgis “*raster para vetor*” (poligonizar).

Feito isso, foi possível ajustar cada pixel ou regiões agrupadas, selecionando e ditando os vértices dos polígonos ou construindo um novo polígono e classificando-o corretamente. Todo o processo de reclassificação demandou o auxílio de imagens do Google Satélite no Qgis.

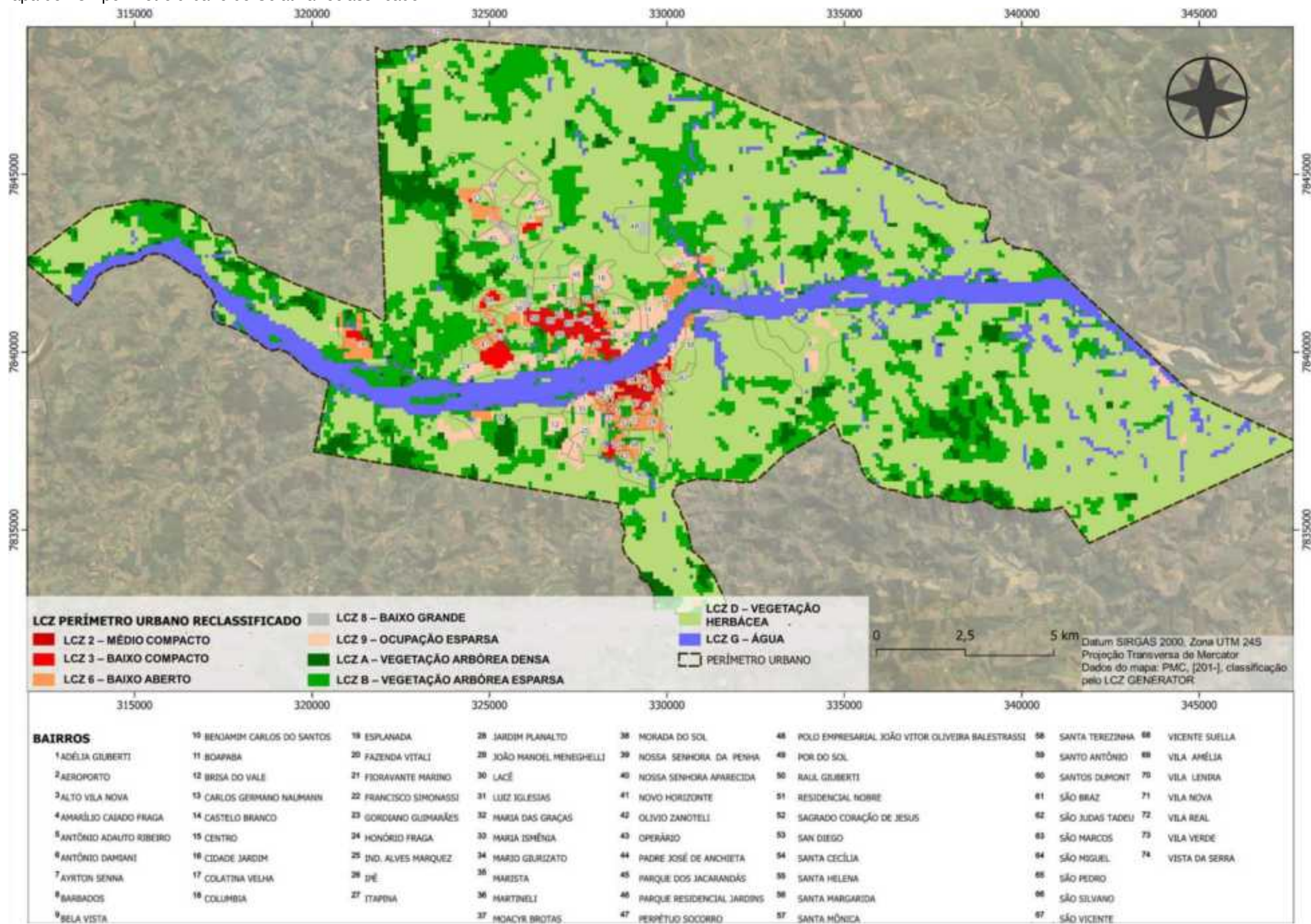


#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reclassificação fez surgir duas novas classes que, por critérios do protocolo *WUDAPT*, não puderam ser classificadas na etapa anterior, pois estavam sub-representadas e comprometeriam a precisão do mapa. As classes identificadas foram a *LCZ 2* (médio compacto) e a *LCZ 8* (Baixo grande). O novo mapa reclassificado, com a correção das *LCZs* e com as novas classes identificadas, encontra-se a seguir na Figura 52.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 52 – Mapa de LCZ perímetro urbano de Colatina reclassificado

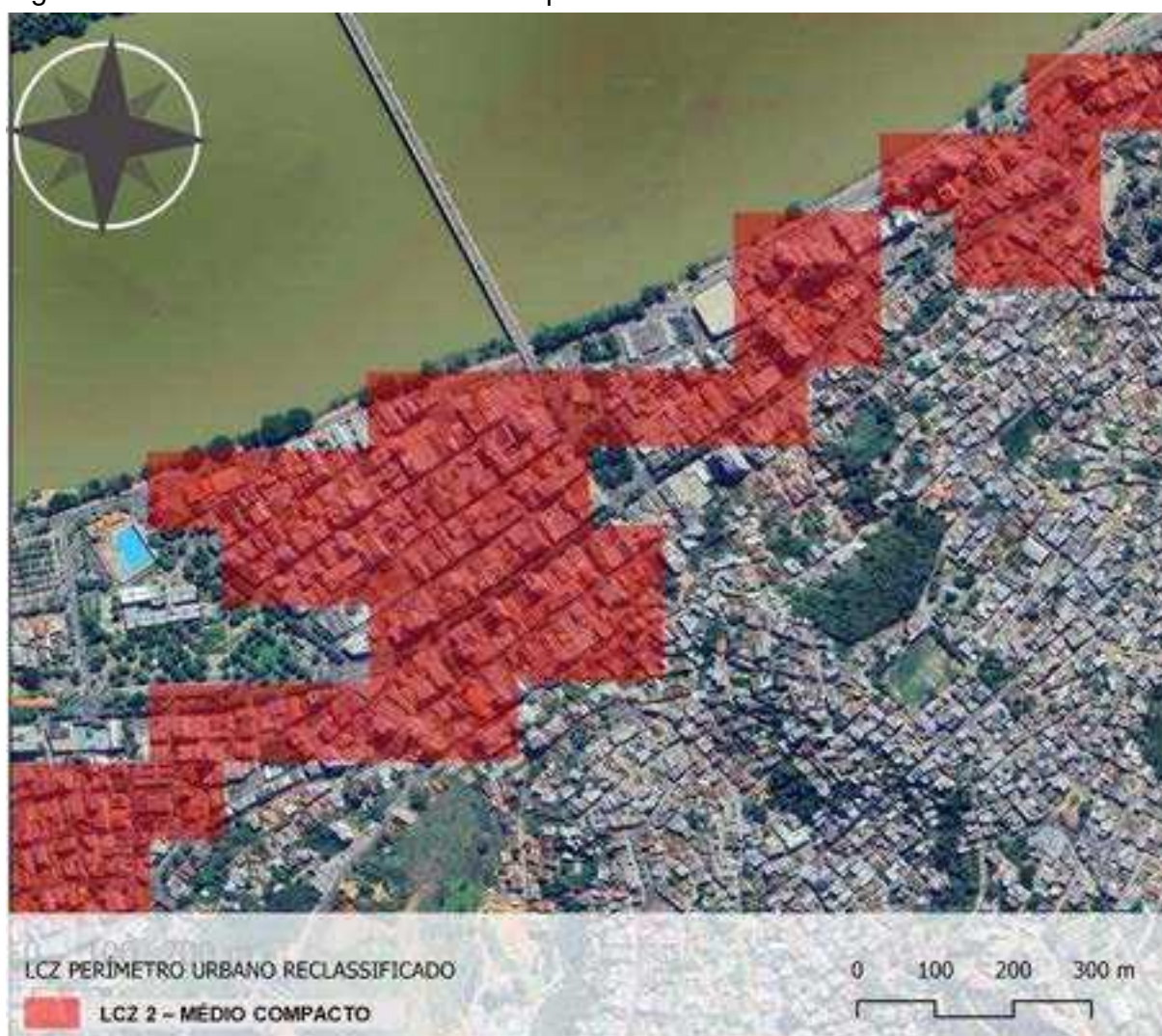


Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As novas classes foram identificadas no processo inicial de classificação. Entretanto, em função da baixa quantidade de áreas de treinamento disponíveis, optou-se por mapear essas zonas manualmente. A LCZ 2 foi identificada no lado sul de Colatina, nos bairros Centro e Esplanada (Figura 53), essas regiões se caracterizam por apresentar gabarito mais elevado, pouca presença de vegetal e áreas majoritariamente impermeabilizadas.

Figura 53 – LCZ 2 no bairro Centro e Esplanada.



Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

A LCZ 8 foi verificada em regiões com edificações baixas, de um a três pavimentos, com pouca vegetação e solo predominantemente impermeável. Foram encontradas nos bairros São Silvano, Lacê, Morada do Sol, Industrial Alves Marques, Carlos Germano

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Naumann, Benjamim Carlos dos Santos e Mário Giurizato, sendo áreas com predominância de galpões e pátios industriais, conforme Figura 54.

Figura 54 - LZC 8 no bairro Industrial Alves Marques.



Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

As Figuras Figura 55 e Figura 56 mostram o resultado, após a reclassificação, das localidades apresentadas na Figura 51, evidenciando que o processo resultou em melhorias na precisão do mapa.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 55 – Loteamento após o processo de reclassificação.



Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

Figura 56 – Loteamentos após o processo de reclassificação.



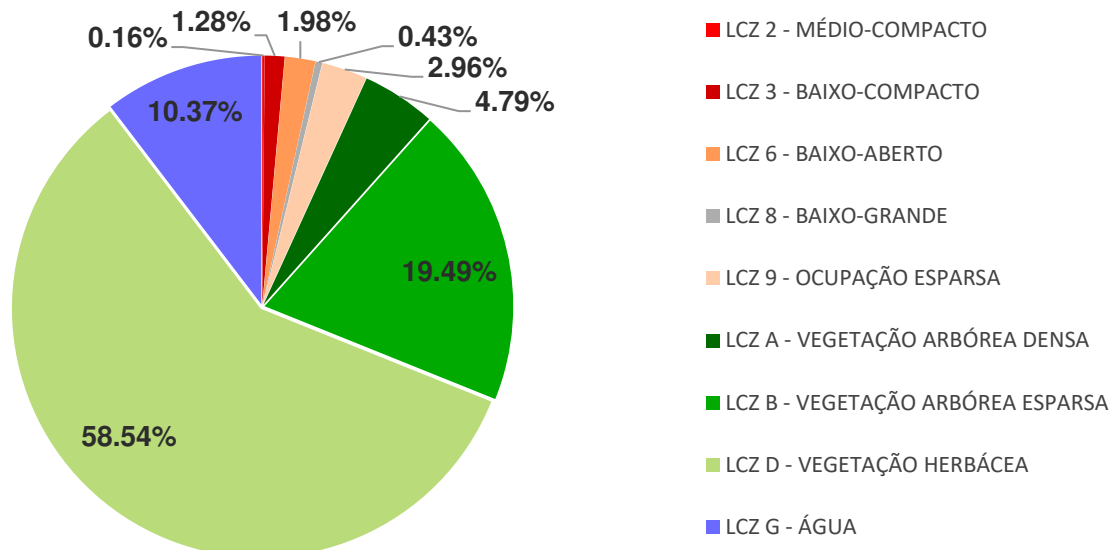
Fonte: LCZ Generator, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

Após o término das edições manuais, verificou-se que as porcentagens das LCZs variaram pouco em relação à classificação original. Contudo, salienta-se que esse processo contribuiu para melhorar a precisão, principalmente nos limites das zonas,

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

resultando em um mapa de maior acurácia. As porcentagens de *LCZ* após a classificação manual podem ser vistas no Gráfico 4.

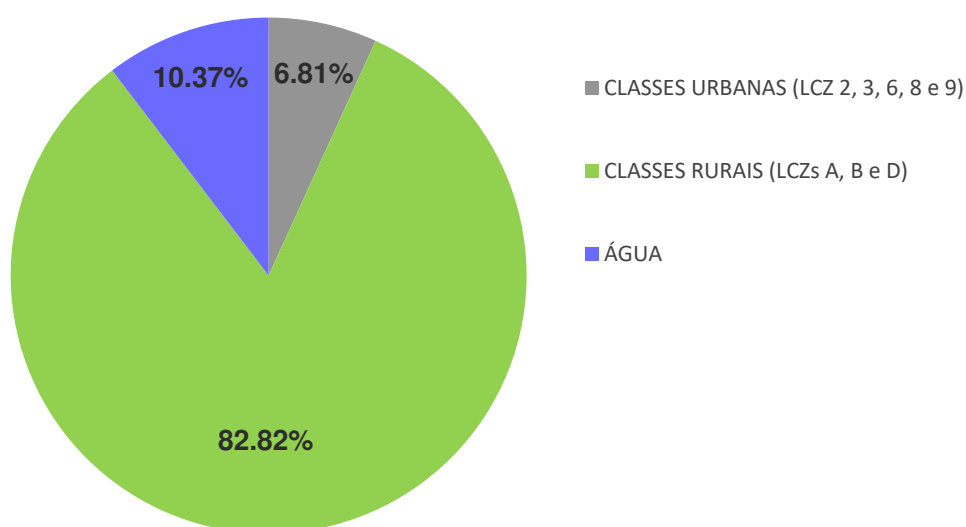
Gráfico 4 – Porcentagem de cada classe no perímetro urbano, após a reclassificação.



Fonte: *LCZ Generator*, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

No Gráfico 5 são mostradas as classes de *LCZs* agrupadas nas seguintes categorias: Classes urbana, Classes rurais e água, com predomínio das classes rurais, ocupando 82,82% do perímetro urbano.

Gráfico 5 – Classes de *LCZs* agrupadas em categoria urbana, rural e água.



Fonte: *LCZ Generator*, 2023. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados de PMC [201-] e Demuzere, Kittner e Bechtel, 2021.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das dezessete classes de *LCZ* disponíveis, oito foram encontradas no perímetro urbano de Colatina, sendo cinco classes urbanas e três rurais. Adiante, foi descrita e ilustrada cada classe encontrada.

##### a) *LCZ 2* – Médio compacto

Classe com predomínio de edifícios com altura variando de nove a vinte e quatro pavimentos, região adensada e de uso misto (residencial e comercial). A cobertura dos solos é majoritariamente impermeabilizada e a presença de árvores é escassa. Encontrada principalmente na região central de Colatina e no bairro esplanada, regiões que são caracterizadas pelo comércio, serviços de saúde e moradias em apartamentos, conforme pode ser visto na Figura 57.

Figura 57 – *LCZ 2*



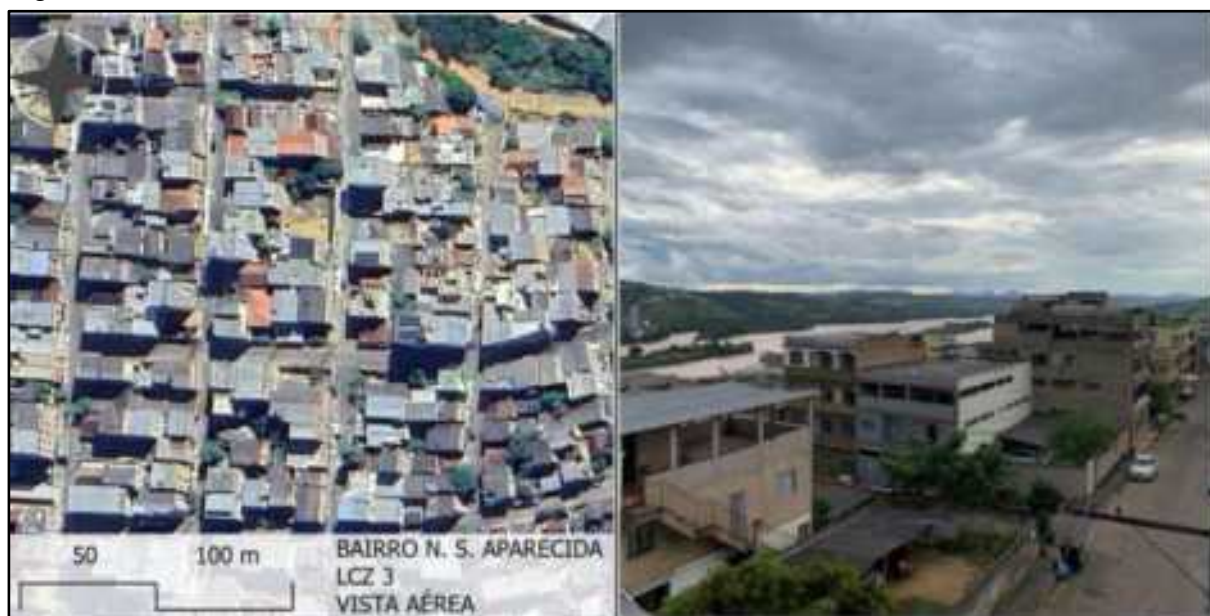
Fonte: Google Earth, 2023.

##### b) *LCZ 3* – Baixo compacto

A *LCZ 3* foi a classe urbana com maior abundância no recorte. É caracterizada pelo adensamento construtivo, tendo edifícios de um a três pavimentos e cobertura do solo bastante impermeabilizada, conforme Figura 58. Encontra-se com maior frequência no lado norte da cidade em áreas majoritariamente residenciais, com alguns comércios de pequeno porte.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 58 – LCZ 3



Fonte: Google Earth, 2023.

#### c) **LCZ 6 – Baixo aberto**

A LCZ 6 é caracterizada pela existência de vazios urbanos e, consequentemente, menor adensamento construtivo. Os edifícios variam de um a três pavimentos, com predomínio de casas térreas (Figura 59). Essa zona está distribuída nas bordas da mancha urbana e reflete em áreas que estão no processo de consolidação, sendo bastante comum em loteamentos implantados nos últimos dez anos. O solo é mais permeável em relação às LCZs 2 e 3 e apresenta maior quantidade de vegetação.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 59 – LCZ 6



Fonte: Google Earth, 2023.

#### d) **LCZ 8 – Baixo grande**

A LCZ 8 é definida como uma zona de grandes edificações de baixa elevação e distribuição espacial não concentrada. Em Colatina, encontra-se nas áreas de indústrias e pátios, possui pouca ou nenhuma arborização e tem o solo predominantemente impermeável (Figura 60). Também foi verificada em áreas de comércio com grandes estacionamentos de pavimentação impermeabilizada.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 60 – LCZ 8



Fonte: Google Earth, 2023.

##### e) **LCZ 9 – Ocupação esparsa**

A LCZ 9 é caracterizada pela presença de edificações de pequeno porte e com distribuição esparsa, conforme representado pela Figura 61. Foi encontrada principalmente em áreas próximas às zonas rurais, novos loteamentos e alguns espaços livres de uso público, como a Praça Sol Poente e a área verde da Avenida Beira Rio. A presença de vegetação é elevada e o solo apresenta maior permeabilidade que outras classes urbanas. Em Colatina, essa classe foi verificada em zonas residenciais com pequenos comércios de bairros e em espaços públicos.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 61 – LCZ 9



Fonte: Google Earth, 2023. Imagem em perspectiva disponibilizada por Cunha, 2023.

#### f) **LCZ A – Vegetação arbórea densa**

Classe que apresenta formação vegetal densa e solo permeável, conforme Figura 62. Em Colatina, poucas dessas formações foram encontradas na mancha urbana, estando grande parte localizada nas áreas rurais sob a forma de fragmentos florestais não conectados, sendo remanescentes da Mata Atlântica ou áreas de reflorestamento.

Figura 62 – LCZ A



Fonte: Google Earth, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### g) **LCZ B – Vegetação arbórea esparsa**

A *LCZ B* apresenta vegetação esparsa com solo permeável (Figura 63). Mais abundante que a *LCZ A*, esta classe foi mais facilmente encontrada na mancha urbana e nas suas redondezas, fazendo limite, na maioria das vezes, com as *LCZ 6* e *LCZ 9*.

Figura 63 – *LCZ B*



Fonte: Google Earth, 2023.

##### h) **LCZ D – Vegetação herbácea**

A *LCZ D* foi a classe com a maior porcentagem de área no perímetro urbano de Colatina. Essa *LCZ* engloba locais com alta permeabilidade, cobertura vegetal de herbáceas e presença de algumas árvores esparsas, também engloba os cultivos agrícolas, como as plantações de café, conforme Figura 64.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 64 – LCZ D

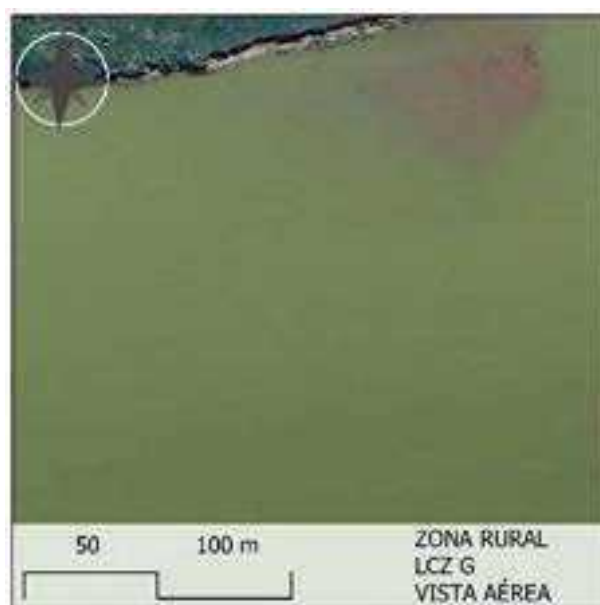


Fonte: Google Earth, 2023.

##### i) **LCZ G – Água**

Classe que obteve o maior valor de acurácia na classificação. Foi identificada principalmente no Rio Doce e em algumas represas, córregos e lagos, conforme Figura 65.

Figura 65 – LCZ G



Fonte: Google Earth, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de *LCZ* elaborado para Colatina permitiu identificar a morfologia da cidade por uma perspectiva voltada ao clima urbano. Dessa forma, a paisagem foi classificada em Zonas Climáticas Locais, de caráter urbano e rural, com base em aspectos estabelecidos pela metodologia de Stewart e Oke (2012).

Verificou-se, no recorte territorial, o predomínio das classes rurais, principalmente a *LCZ* D, composta por pastagens e cultivos agrícolas. Essas classes rurais dominam 82,82% do perímetro urbano, a classe de água, 10,84% e as classes urbanas, apenas 6,81%. Tal constatação permite questionar a extensão do perímetro urbano do município e sua real necessidade, visto que a parte urbanizada ocupa uma parcela mínima da área. Além disso, as classes urbanas mais frequentes são as *LCZ* 9 e *LCZ* 6, localizadas principalmente nas bordas da mancha urbana, podendo indicar seu aumento e, conseqüentemente, a supressão de áreas verdes e permeáveis.

Barroca (2023) investigou a relação de expansão do perímetro urbano de Colatina apontando significativo aumento desde o ano de 1979. Além disso, deixa evidente que o crescimento territorial do perímetro urbano e da mancha urbana superaram o crescimento populacional. Ressalta, ainda, que houve decaimento da densidade populacional no perímetro urbano.

No próximo subcapítulo, serão apresentados os resultados estudos acerca do NDVI e de Temperatura de Superfície, diurna e noturna de Colatina.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

O NDVI é um índice de vegetação amplamente utilizado para realizar estudos envolvendo a análise da vegetação por meio do sensoriamento remoto e respaldado pela literatura científica (Silva *et al.*, 2018). Os dados de NDVI utilizados nesta pesquisa foram obtidos através do sensor MODIS, por meio do produto MYD13Q1 v061 (MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid), apresentando resolução espacial de 250 metros e resolução temporal de 16 dias.

O período de aquisição das imagens foi do dia 17 de maio de 2023 até o dia 1 de junho de 2023, totalizando 16 dias, caracterizando estação seca. O produto de NDVI foi adquirido diretamente do site *EarthExplorer*<sup>1</sup>, não necessitando realizar o tradicional cálculo com as bandas de infravermelho próximo e vermelho, uma vez que o sensor MODIS já disponibiliza um produto próprio de NDVI, assim como a Temperatura de Superfície, diurna e noturna.

Os valores de NDVI variam de -1 a +1, onde, quanto mais abundante e saudável a vegetação, mais próximo de +1, e quanto menor a presença de vegetação, menores são os valores de do índice, se aproximando de -1. Para realizar o processamento dos dados no ambiente SIG foi necessário converter o arquivo, originalmente no formato HDF para *.tif*. Além disso, realizou-se a reprojeção do arquivo para o sistema UTM e datum planimétrico WGS84. A conversão se faz necessária para a manipulação dos dados nos programas de geoprocessamento, no caso desta pesquisa, o Qgis.

O resultado de NDVI para Colatina obteve valor máximo de 0,8654 e valor mínimo de -0,199, conforme Figura 66. Estudos anteriores mostram que valores elevados de NDVI estão associados a locais com alta presença de vegetação, como regiões de mata nativa e reflorestamento (Ferreira; Duarte, 2019; Almeida *et al.*, 2015; Pessi *et al.*, 2019; Da Cruz, 2023). As localidades que possuem NDVI baixo estão associadas à mancha urbana, corpos d'água, como o Rio Doce, e regiões desprovidas de vegetação.

---

<sup>1</sup> Disponível gratuitamente em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

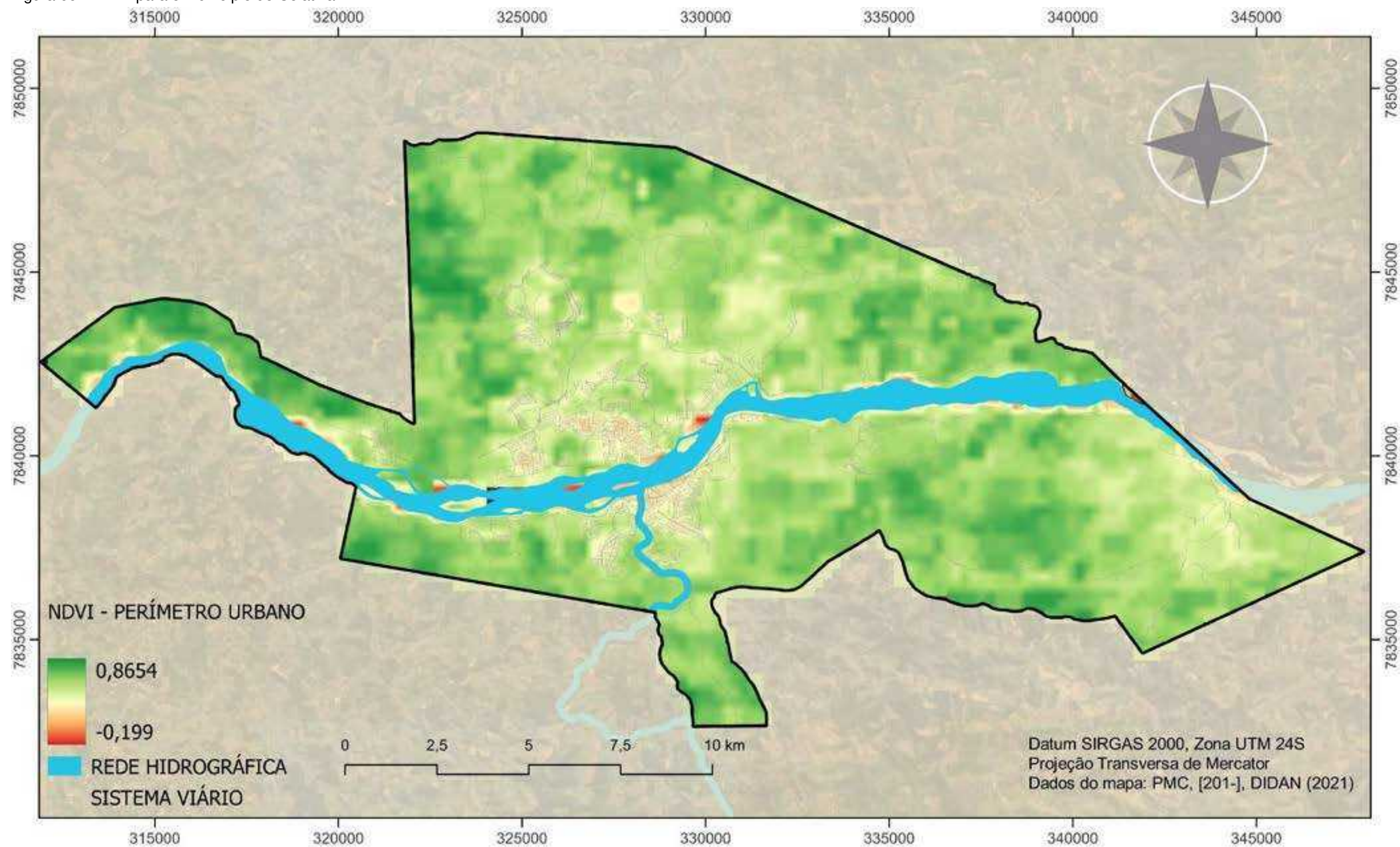
A análise da imagem demonstra que o NDVI teve valores relativamente baixos para a área urbanizada da cidade, o que pode ser explicado pela presença de construções, pavimentações e outros elementos impermeáveis que reduzem significativamente a presença de vegetação, conforme os estudos de Ferreira (2019) e Da Cruz (2023).

Segundo demonstrado por Chen *et al.* (2017) em um estudo realizado na capital chinesa, Pequim, os valores de NDVI na área urbanizada eram mais baixos, principalmente naquelas de rápida urbanização. Em Colatina, algumas regiões da área urbanizada apresentam valores de NDVI mais elevados, sendo locais de parques, matas ciliares e remanescentes de vegetação nativa ou reflorestada. A fim de evidenciar essas variações, a Figura 67 mostra a sobreposição do mapa de NDVI com perímetro urbano da cidade.

As áreas rurais estão condicionadas à variação dos aspectos sazonais, como estações do ano e precipitação. Pela análise da Figura 66 percebe-se que áreas de plantações, como cultivo de café, apresentaram valores mais elevados. Em contrapartida, as áreas de pastagens mostraram valores mais baixos, podendo ser um indicador de que estas estão degradadas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

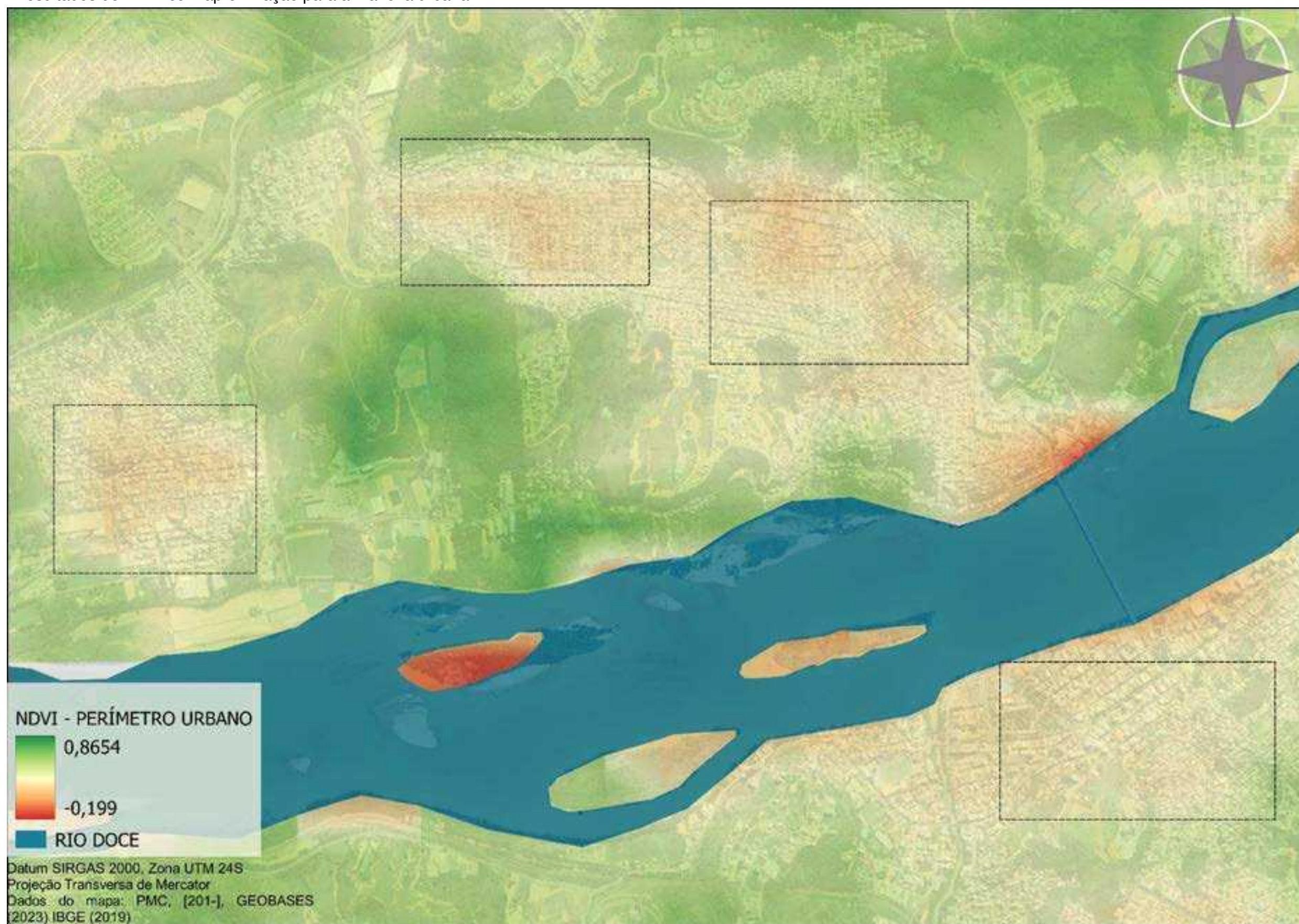
Figura 66 – NDVI para o município de Colatina



Fonte: Dados da PMC [201-], Didan, 2021. Mapa organizado pelo autor, 2023.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 67 – Resultados de NDVI com aproximação para a mancha urbana.



Fonte: Dados da PMC [201-], Didan, 2021. Mapa organizado pelo autor, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 67 faz uma aproximação da mancha urbana com o intuito de analisar como o NDVI está espacializado. Conforme os estudos de Chen *et al.* (2017), de fato, a região urbanizada apresentou valores menores de NDVI, principalmente nas partes mais centrais dos bairros. Quando se analisa a borda da mancha urbana, os valores tendem a subir, principalmente em função da proximidade com zonas naturais e regiões de agricultura.

O NDVI tem sido amplamente utilizado nos trabalhos que estudam clima urbano e planejamento urbano para investigar a relação entre vegetação e temperatura de superfície (Ullah *et al.*, 2023). Os resultados geralmente mostram que regiões com valores de NDVI positivo, ou seja, com presença de vegetação, tendem a apresentar temperaturas de superfícies mais amenas em relação às regiões desprovidas de vegetação (Ullah *et al.*, 2023; Pessi *et al.*, 2019).

Sabe-se que a vegetação apresenta potencial de reduzir as temperaturas locais em função da evapotranspiração e do bloqueio à radiação solar (Oke *et al.*, 2017). Todavia, os valores de temperatura dependem de outros fatores, como a topografia e ação antrópica. Levando em consideração o exposto, o subcapítulo adiante faz uma análise das temperaturas de superfície, diurna e noturna, da cidade de Colatina.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Este subcapítulo aprofunda as análises da temperatura da superfície em Colatina utilizando duas imagens de satélite com resolução espacial de um quilômetro: uma da temperatura de superfície diurna e outra da noturna, ambas referentes ao período de 10 de junho de 2023 ao dia 17 de junho de 2023. O produto utilizado nesta pesquisa foi o MYD11A2 v061 (MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1 km SIN Grid). Foram utilizadas imagens da estação seca, que proporcionam melhor visibilidade e menor interferência de nuvens. Além disso, algumas imagens do período chuvoso de 2023 estavam com interferências de nuvens e não seria viável para o desenvolvimento da pesquisa aguardar as imagens do período chuvoso de 2024.

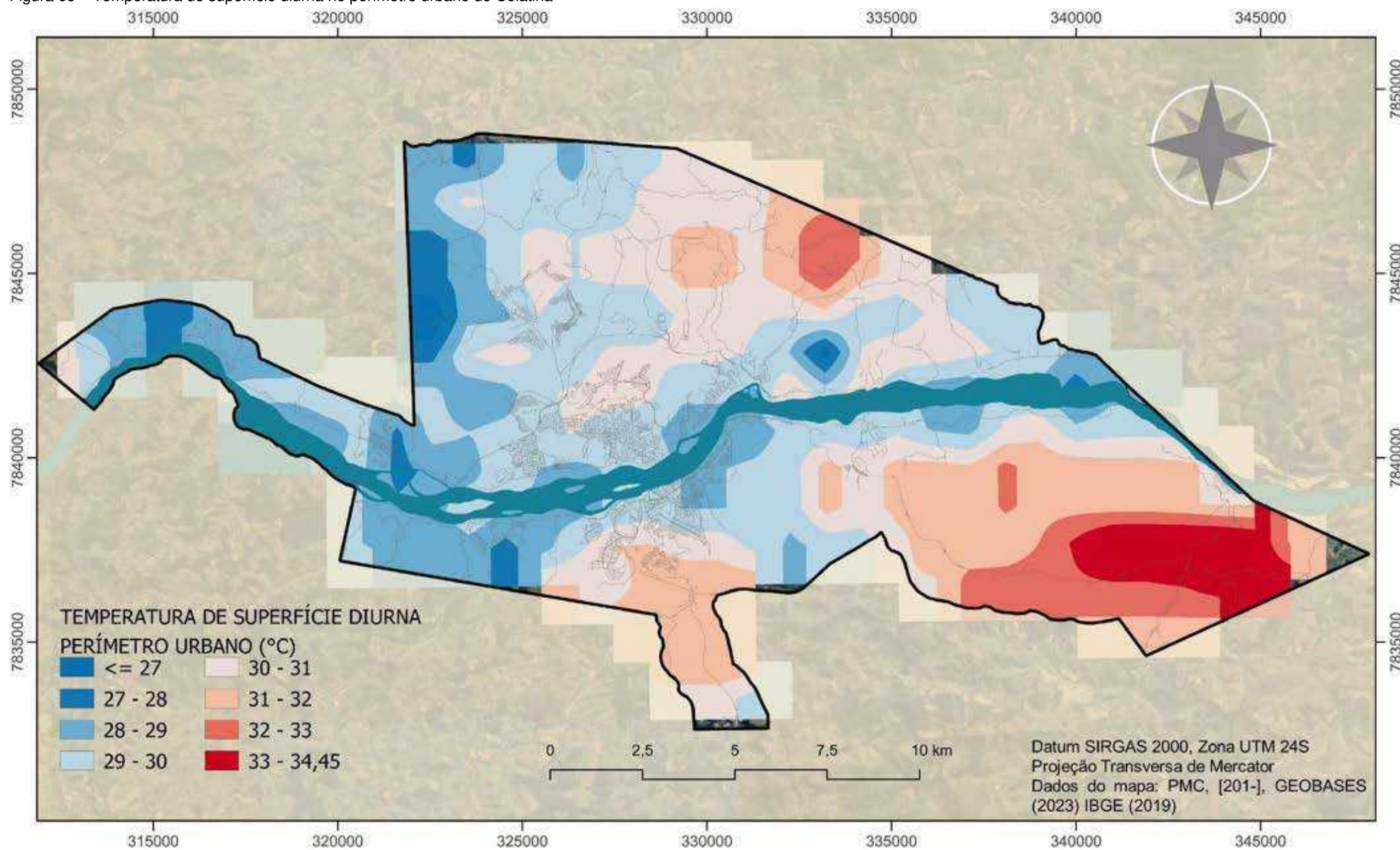
A LST diurna em Colatina variou entre 27°C e 33°C, conforme Figura 68. As áreas urbanas apresentaram temperaturas que variaram de 29°C a 31°C. Destaca-se que a região circundante ao Rio Doce apresentou LST diurna entre 28°C e 30°C, valores mais baixos que em algumas regiões rurais. Levando em consideração o contexto, com respaldo em Masiero e Souza (2013), Cai, Han e Chen (2018) e Jeon, Park, Guldmann (2023), acredita-se que o Rio Doce influencie a LST diurna em seu entorno imediato.

Masiero e Souza (2013) demonstraram em seus estudos que a interação entre ventos e corpos d'água atua como potencial modificador microclimático, gerando temperaturas de ar amenas. Cabe ressalva que a topografia, morfologia urbana e a vegetação podem interferir nesse efeito. Os autores salientam que cidades em fundo de vale, com a presença de corpos d'água, apresentam temperaturas de ar mais amenas. Isso ocorre em função do espaço aberto que rios e lagos possuem permitindo a passagem de correntes de ar e o resfriamento evaporativo (Masiero; Souza, 2013).

Os estudos de Cai, Han e Chen (2018) desenvolvidos com dados do *Landsat* para uma cidade chinesa mostraram forte influência de corpos hídricos na LST diurna, tendo maior eficácia em até quinhentos metros de distância. Essa influência tende a diminuir à medida que se aumenta a distância. Jeon, Park, Guldmann (2023) também verificaram que a proximidade com corpos d'água e massas vegetadas atuam na redução da temperatura de superfície.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 68 – Temperatura de superfície diurna no perímetro urbano de Colatina



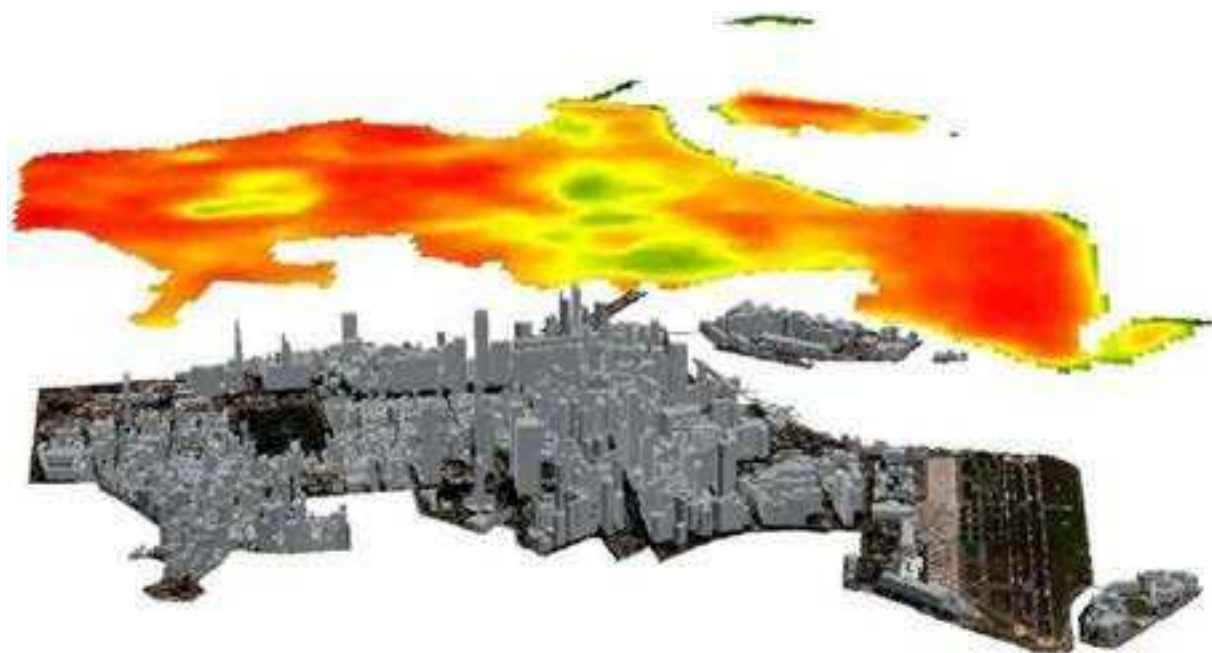
Fonte: Dados da PMC [201-], Didan, 2021. Mapa organizado pelo autor, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Outro fator que pode justificar as temperaturas diurnas mais amenas na mancha urbana é o sombreamento provocado pelos edifícios, principalmente na região central da cidade. Conforme demonstrado pelos estudos de Lemos, Oscar Júnior e Mendonça (2021) para o Rio de Janeiro, as áreas verticalizadas, com edifícios acima de 50 metros, apresentaram temperatura de superfície menor em relação a outras localidades com gabaritos mais baixos, conforme Figura 69.

Sousa e Ferreira (2012) também verificaram temperaturas mais amenas em regiões verticalizadas na região de Goiânia, reforçando o papel do sombreamento na obtenção de temperaturas superficiais mais baixas. Contudo, deve-se levar em consideração que podem existir outras consequências causadas pela verticalização, como por exemplo o acúmulo de calor durante o dia e a sua liberação à noite, contribuindo para o surgimento de ilhas de calor (Monteiro *et al.*, 2021).

Figura 69 – Variação da Temperatura de Superfície no recorte da pesquisa, Rio de Janeiro.



Fonte: Lemos, Oscar Júnior e Mendonça, 2021, p. 7. Modificado pelo autor, 2024.

Costalonga, Salles, Amorim e Simões (2019) realizaram um estudo na Rua Geraldo Pereira, localizada no centro da cidade de Colatina, avaliando a relação entre a morfologia urbana e o conforto térmico. Foi verificado que nessa região, o fator de visão do céu (FVC) havia sido parcialmente obstruído em função do gabarito das edificações.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Além disso, o estudo também concluiu que, ao simular edificações com aproveitamento construtivo máximo permitido pela legislação municipal, o FVC seria ainda mais prejudicado, gerando sombreamento e a sensação de clausura.

Ao se voltar as análises para as áreas periurbanas de Colatina, é possível perceber que, em algumas regiões, a temperatura de superfície diurna é mais elevada que em partes centrais da mancha urbana, com intervalo de temperatura entre 30°C e 32°C. Essas áreas periurbanas, caracterizadas como zonas de transição entre o urbano e o rural, frequentemente experimentam expansão urbana com a implementação de novos loteamentos. Tal expansão resulta na perda da cobertura vegetal original, expondo o solo. Sem a proteção das árvores e da vegetação, a LST do solo aumenta, de acordo com os estudos de Fialho e Santos (2023).

Conforme discutido no subcapítulo 4.1.2, essas áreas de Colatina são dominadas por pastagens e cultivos agrícolas. Segundo os estudos de Sayão *et al.* (2020), na Região de Piracicaba, as áreas com vegetação esparsa e pastagens apresentaram temperaturas mais elevadas quando comparadas com locais de vegetação densa. O estudo ainda revela que na estação chuvosa os maiores valores de temperatura de superfície foram registrados em áreas de solo descoberto, palha e pastagem, respectivamente. Em contrapartida, na estação seca, os maiores valores de temperatura de superfície foram verificados nas áreas de pastagem (Sayão *et al.*, 2020). Dessa forma, evidencia-se que as estações do ano podem influenciar diretamente nos resultados.

No caso de Colatina, verificou-se que algumas regiões dominadas por pastagens apresentaram temperatura de superfície igual ou superior à da mancha urbana. Fialho e Santos (2023) relataram essa mesma situação em um estudo para a cidade de Viçosa, Minas Gerais. Segundo os autores, em determinadas localidades com predomínio de pastagens, a temperatura de superfície foi maior que em áreas urbanizadas em decorrência do período de aquisição das imagens.

No estudo de Fialho e Santos (2023), as imagens foram adquiridas no inverno, estação que remete ao período de estiagem e, conseqüentemente, faz com que as pastagens

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

fiquem mais secas e suscetíveis a apresentarem maiores temperaturas (Fialho; Santos, 2023). No caso de Colatina, a estação do ano também pode ter influenciado na LST. As imagens utilizadas para a análise foram coletadas no final do outono e início do inverno, período de estiagem na região. Isso pode ter contribuído para as altas temperaturas diurnas registradas em áreas de pastagem, que tendem a ficar mais secas durante essa época.

Carrasco *et al.* (2020) também verificaram que o tipo de cobertura do solo influencia diretamente na temperatura da superfície. O estudo concluiu que áreas de pastagem e de solo descoberto tendem a aumentar a temperatura de superfície, enquanto áreas vegetadas e corpos hídricos tendem a reduzi-la. Além disso, a mudança na cobertura do solo, em decorrência da urbanização, tem sido apontada como uma das principais causas da formação de ilhas de calor urbana (Choudhury *et al.* 2023; Estoque; Murayama; Myint, 2017) como, também, é a maior causa de produção de gases de efeito estufa no contexto urbano brasileiro, acima dos transportes.

O ambiente criado pela urbanização, recorrentemente, não dispõe de muitos espaços vegetados e possui elevada taxa de materiais impermeáveis. Por consequência, as áreas urbanas tendem a acumular maior quantidade de calor durante o dia e liberar radiação de onda longa, intensificando o fenômeno da ilha de calor urbana (Irfeey *et al.*, 2023; Faragallah; Ragheb, 2022), que é um fenômeno tipicamente noturno.

Considerando os fatores mencionados, é apresentada a LST noturna em Colatina, conforme Figura 70. Essa análise permitiu verificar a formação de ICUS na cidade e identificar as áreas mais afetadas pelo fenômeno. A LST noturna apresentou valores que variam de 17,5°C a 19,5°C. Esses valores são inferiores em relação à temperatura da superfície diurna, pois não há incidência de radiação solar e são realizadas as trocas de calor com o ambiente.

A mancha urbana apresentou valores mais elevados do que áreas de caráter rural, confirmando a formação de ilhas de calor de superfície. Essa diferença pode ser atribuída à concentração urbana, à impermeabilização do solo e à menor cobertura

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

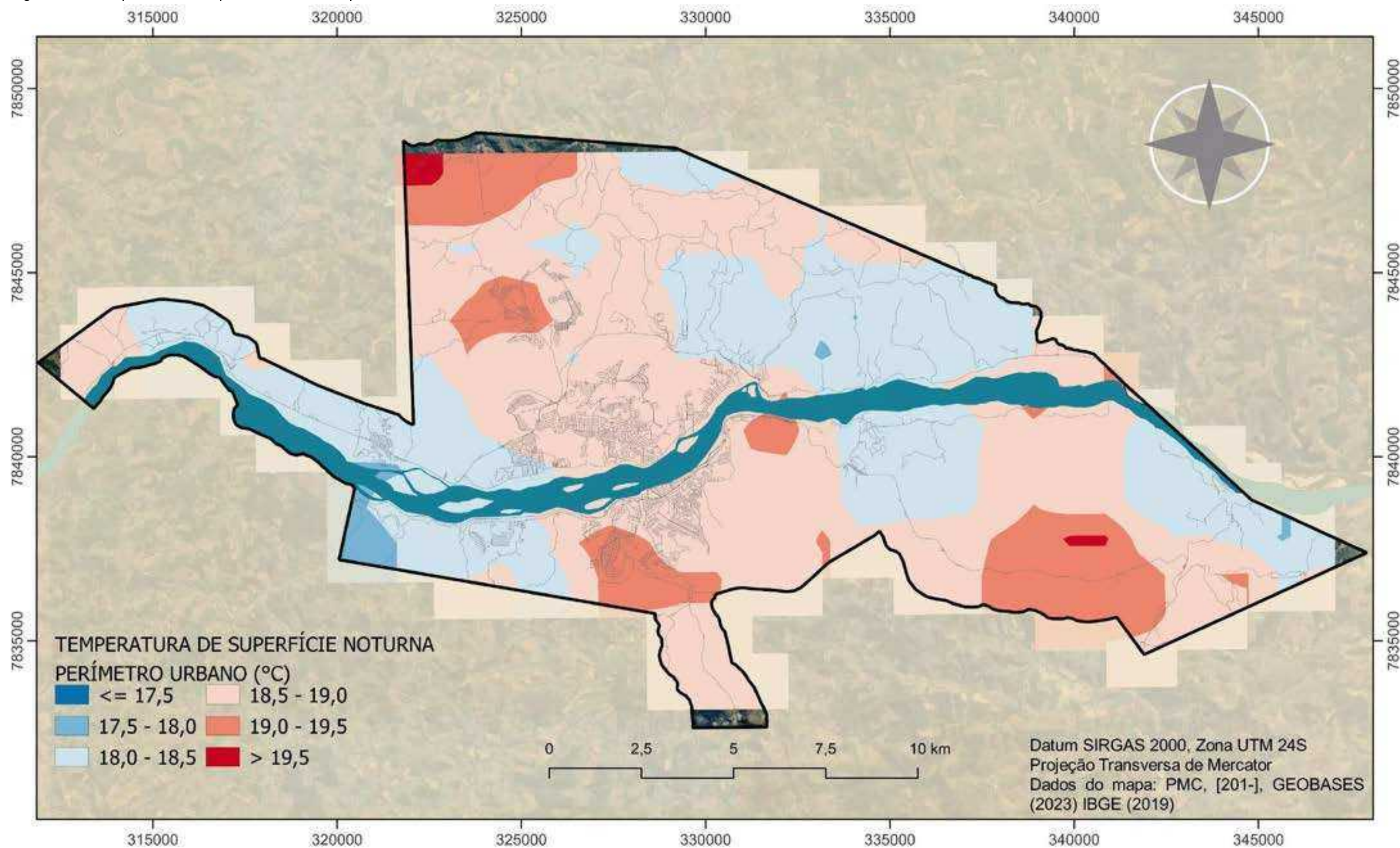
vegetal nas áreas centrais, conforme estudos de Estoque, Murayama e Myint (2017) e Carrasco *et al.* (2020).

Além disso, as análises de NDVI permitiram averiguar que a mancha urbana apresenta vegetação escassa, interferindo diretamente nos resultados da LST. Sabe-se que a vegetação atua como um regulador térmico, promovendo bloqueio à radiação solar e liberando umidade através da evapotranspiração, contribuindo diretamente para a diminuição da temperatura. A perda de cobertura vegetal nas áreas centrais intensifica o efeito ilha de calor de superfície (Estoque, Murayama e Myint, 2017).

Nessa perspectiva, vale ressaltar que Colatina apresenta distribuição desigual de seus espaços livres, sejam eles praças, canteiros ou jardins, além de possuir uma pequena parcela de área verde por habitante, cerca de 1,86 metros quadrados. Estes fatos corroboram com as temperaturas observadas na cidade, visto que os espaços vegetados e permeáveis ajudam a diminuir a intensidade da ICUS.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 70 – Temperatura de superfície noturna no perímetro urbano de Colatina



Fonte: Dados da PMC [201-], Didan, 2021. Mapa organizado pelo autor, 2023.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como visto, diversos são os fatores que influenciam no surgimento e na intensidade da ICUS, dentre eles, o processo de urbanização é o que mais interfere (Choudhury *et al.* 2023; Irfeey *et al.*, 2023; Faragallah; Ragheb, 2022). Em Colatina, entre os anos de 2000 e 2017, houve aprovação de inúmeros projetos de loteamentos incentivados principalmente por programas habitacionais e pela expansão do perímetro urbano, este com premissa de estimular os empreendimentos imobiliários (Albani; Assis, 2018).

O crescimento urbano em Colatina foi caracterizado por um desenvolvimento desordenado, carente de planejamento abrangente e integrado que vise à sustentabilidade. Essa dinâmica, impulsionada por fatores como acelerada expansão territorial e especulação imobiliária, gera uma série de desafios para as cidades. Em Colatina, o crescimento da mancha urbana aconteceu de maneira dispersa e fez com que a cidade avançasse para áreas de caráter rural, ampliando as áreas impermeabilizadas e suprimindo as áreas vegetadas e permeáveis, observando-se a recorrência de episódios de alagamentos e movimentos de terra, conforme aponta o estudo de Oliveira (2022).

No subcapítulo seguinte, são realizadas as análises estatísticas a fim de verificar a correlação entre as variáveis estudadas: NDVI, hipsometria, declividade, Temperatura de Superfície noturna e diurna e as *LCZ's*. Os resultados dessas análises tendem a gerar subsídios para a compreensão das causas da ICUS em Colatina e para a proposição de medidas de mitigação e adaptação mais eficazes.

##### 4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

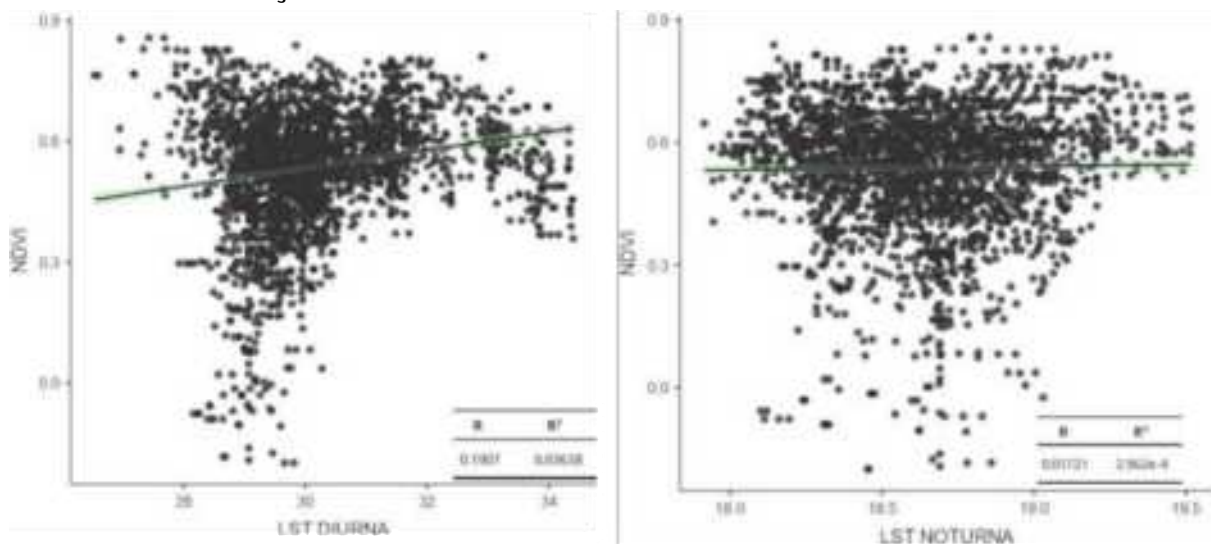
A seguir, são apresentadas as análises estatísticas relacionadas com as variáveis da pesquisa: NDVI, LST diurna e noturna, *LCZs*, declividade e hipsometria. O Gráfico 6 apresenta a correlação, juntamente com os coeficientes de Pearson e de determinação entre o NDVI e a temperatura de superfície para a área de estudo. O gráfico de dispersão revelou uma correlação positiva ínfima fraca entre o NDVI e a LST diurna. Isso significa que, à medida que o NDVI aumenta, a LST também tende a aumentar. A nuvem de pontos apresenta uma dispersão considerável, indicando que há variabilidade na relação entre as duas variáveis. A análise com LST noturna e NDVI

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

basicamente não demonstra correlação, além disso, apresenta nuvem de pontos bastante dispersa.

O modelo de regressão resultante apresentou um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,03638, indicando que apenas 3,638% da variação na LST diurna pode ser explicada pelo NDVI. Isso sugere que outros fatores, além da vegetação, podem influenciar a LST diurna. A análise de NDVI e LST noturna apresentou um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,0002961, ou seja, apenas 0,0296% da variação na LST noturna é explicada pelo NDVI, não demonstrando, assim, correlação entre as variáveis. Ressalta-se que a pouca ou ausente correlação diz respeito aos dados desta pesquisa, para a resolução espacial permitida pelo satélite utilizado, além de outros fatores, como a utilização de apenas uma imagem e a estação predominante.

Gráfico 6 – Correlação entre LST diurna e noturna e NDVI

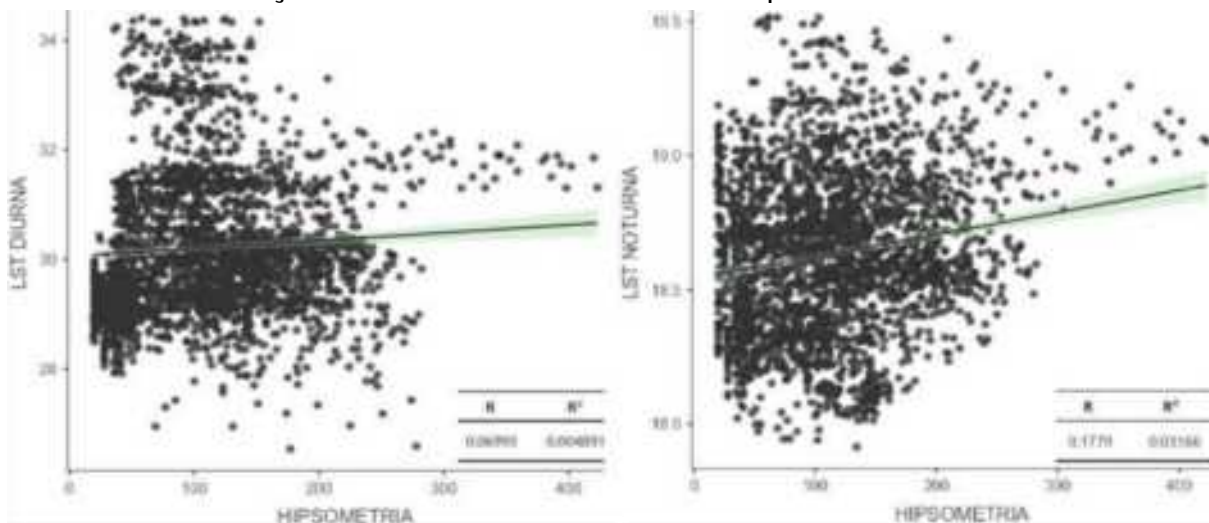


Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, 2024.

Ao se avaliar as LSTs com a hipsometria, através do Gráfico 7, nota-se que o gráfico de dispersão não demonstra correlação entre as variáveis. O coeficiente de determinação para a LST diurna foi de 0,004891 e para a LST noturna foi de 0,03166. Isso sugere que a hipsometria explicaria uma porcentagem baixíssima da variabilidade da temperatura de superfície diurna e noturna, na área de estudo e com a resolução espacial utilizada.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

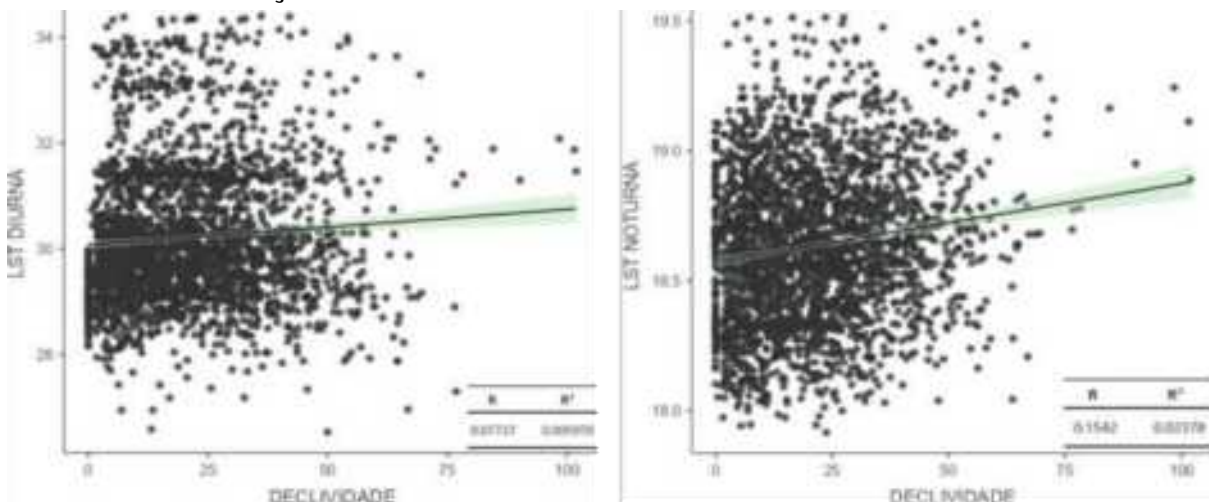
Gráfico 7 – Correlação entre LST diurna e noturna e hipsometria.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, 2024.

Ao confrontar os dados de declividade com as LSTs não foi demonstrada correlação, assim como nas análises anteriores, conforme Gráfico 8. Avaliando os coeficientes de determinação, percebe-se que a variabilidade da LSTs diurna e noturna pouco pode ser explicada pela declividade na área de estudo e com resolução espacial utilizada.

Gráfico 8 – Correlação entre LST diurna e noturna e declividade.



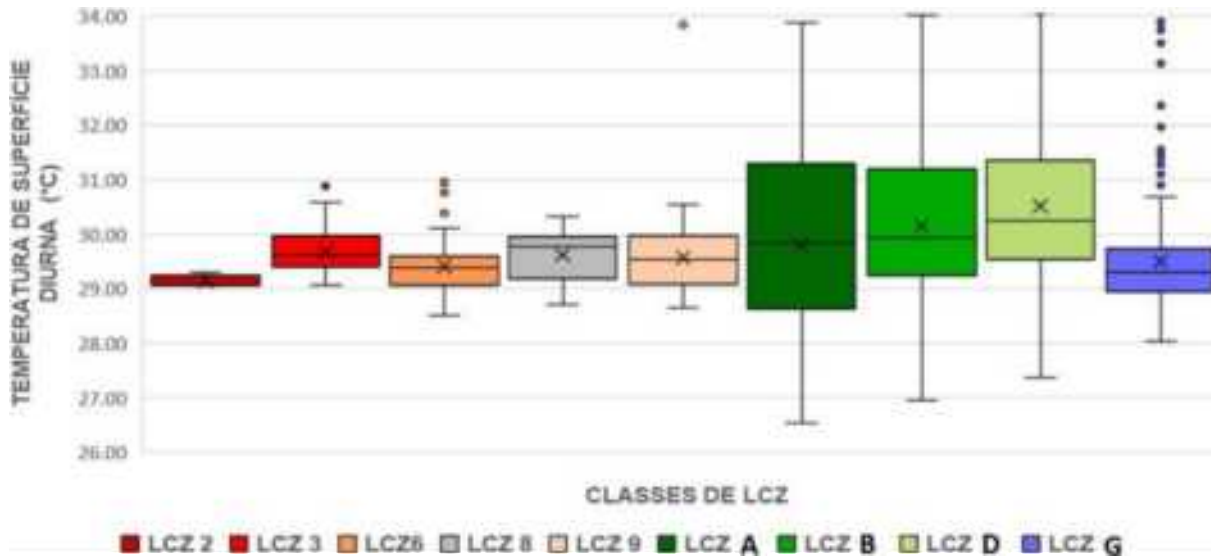
Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, 2024.

Foram elaborados gráficos do tipo *boxplot* para analisar a relação entre temperatura de superfície, NDVI e as LCZs. O Gráfico 9 ilustra a distribuição da temperatura de superfície diurna em relação às classes de LCZ em Colatina. Cada classe de LCZ representa um tipo específico de morfologia urbana, com características próprias que influenciam o microclima. Ao analisar o Gráfico 9, percebe-se que as classes urbanas

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

apresentaram temperaturas diurnas mais amenas que as classes rurais, com exceção da LCZ G. A LCZ 2, encontrada majoritariamente no bairro centro, foi a classe urbana que apresentou a menor média de temperatura, com 29,14°C. Das classes analisadas, a LCZ A apresentou o maior intervalo interquartil, mostrando que esta classe apresentou maior dispersão de seus valores.

Gráfico 9 – Variação da temperatura de superfície diurna para cada LCZ.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, 2024.

Esta situação diverge dos valores encontrados por Ferreira (2019) e Werneck (2022), onde as classes urbanas apresentaram os maiores valores de temperatura de superfície diurna e as classes rurais temperaturas mais amenas. Como visto anteriormente, o sombreamento provocado pela verticalização dessas áreas e a influência do Rio Doce podem ter gerado LST mais baixas, conforme Figura 71 (Jeon; Park; Guldman, 2023; Cai; Han; Chen, 2018; Lemos, Oscar Júnior e Mendonça, 2021).

Figura 71 – Bairro centro em Colatina e vista para o Rio Doce



Fonte: Acervo do autor, 2024.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em Colatina, foram as classes rurais que apresentaram as maiores médias de temperatura superficial diurna, com destaque para a *LCZ D*. Essa classe teve média de temperatura de 30,52°C e se correlaciona com os estudos de Fialho e Santos (2023), Sayão *et al.* (2020) e Carrasco *et al.* (2020), demonstrando que as pastagens alcançaram temperaturas diurnas mais elevadas que áreas urbanas, principalmente quando estavam degradadas e na época de estiagem, período em que foi realizado este estudo.

A Figura 72, ilustra a situação da pastagem no período de aquisição das imagens de satélite, mostrando que, em algumas localidades, ela basicamente é convertida em solo exposto. Essa situação faz com que a absorção de radiação seja maior, visto que não existe cobertura herbácea nem vegetação de médio e alto porte que possam sombrear a área. Dessa forma, a temperatura de superfície diurna dessas regiões tende a aumentar e a influenciar o entorno imediato.

Figura 72 – Pastagem degradada em Colatina.

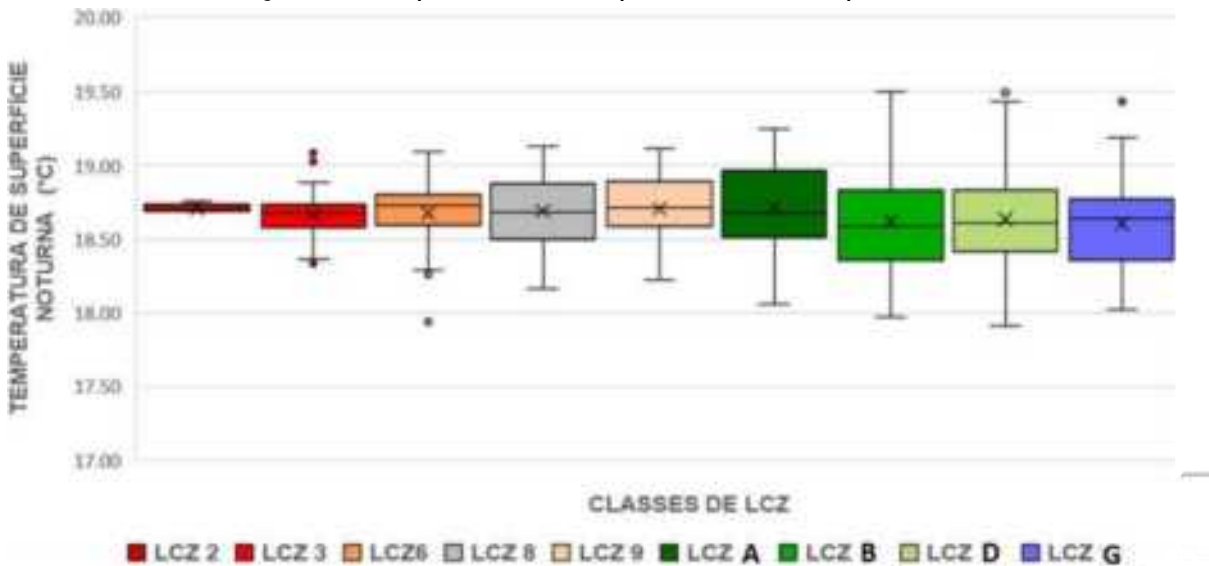


Fonte: Google Earth, 2023.

O Gráfico 10 mostra a variação das temperaturas superficiais noturnas em cada *LCZ*. Apesar de haver pouca variação, é possível perceber que as classes urbanas (*LCZ 2*, *LCZ 3*, *LCZ 6*, *LCZ 8* e *LCZ 9*) obtiveram maiores valores, enquanto as classes rurais (*LCZ A*, *LCZ B*, *LCZ D* e *LCZ G*) apresentaram temperaturas mais amenas.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gráfico 10 – Variação da temperatura de superfície noturna para cada LCZ.



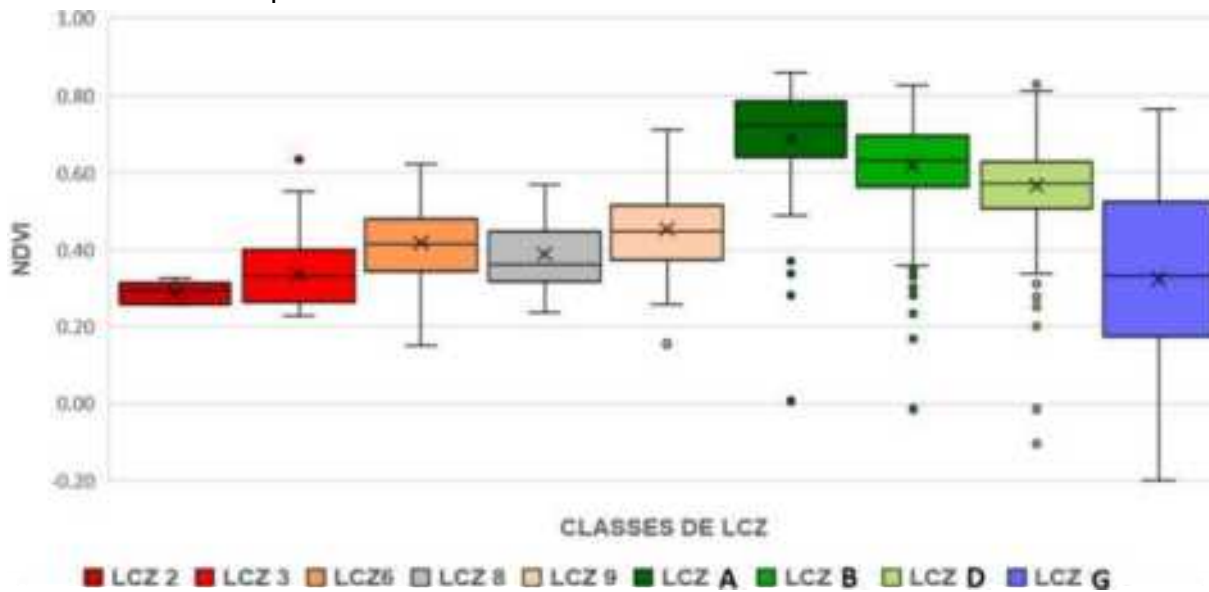
Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, 2024.

O Gráfico 11 se refere às análises do NDVI por classe de LCZs. Conforme esperado, as classes urbanas apresentaram os menores valores. Estes resultados estão de acordo com a quantidade de vegetação associada a cada classe. De acordo com Stewart e Oke (2012), as classes urbanas apresentam menos vegetação que as classes rurais. Nota-se que a LCZ 9 foi a classe urbana com maior NDVI, essa classe encontra-se frequentemente nas bordas da mancha urbana e possui maior quantidade de áreas permeáveis e vegetação.

A LCZ 6 também apresentou NDVI elevado entre as classes urbanas, também em decorrência da quantidade de vegetação presente. A LCZ 3 foi a classe que apresentou o menor NDVI visto que nessa zona, a presença de vegetação é reduzida e a quantidade de área impermeabilizada é elevada. Das classes naturais, a LCZ A obteve o maior NDVI, com média de 0,69, seguida pela LCZ B e D, com média de 0,62 e 0,57, respectivamente.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gráfico 11 – NDVI por classes de LCZs



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor, 2024.

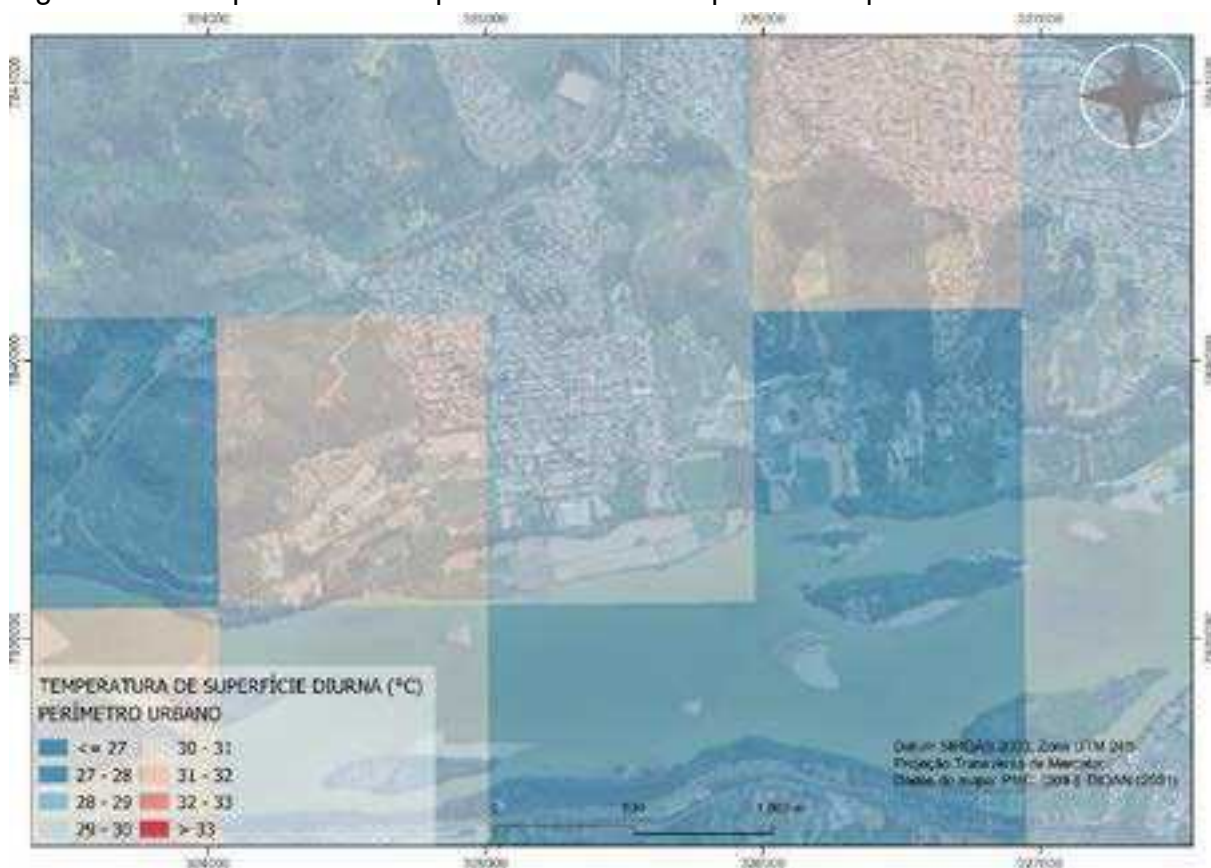
As análises obtidas por meio dos gráficos e coeficientes não demonstraram correlação entre as variáveis de pesquisa na área estudada e para a resolução espacial utilizada. Diversos estudos relataram forte correlação negativa entre LST e NDVI, ou seja, quanto maior o NDVI, maior a quantidade e qualidade da vegetação, implicando em menores temperaturas superficiais (Ferreira, 2019; Werneck, 2022; Ullah *et al.*, 2023; Pessi *et al.*, 2019). O mesmo ocorre na correlação entre altitude e LST, em que estudos evidenciaram que áreas mais elevadas apresentam LSTs mais baixas (Ullah *et al.*, 2023; Silva, Fialho e Alves, 2012). Diante dos resultados alcançados e das divergências encontradas com base na literatura, levantou-se algumas possibilidades que podem explicar o observado.

A escolha do sensor para estudos em ambientes urbanos é crucial para a obtenção de resultados precisos e confiáveis. Fatores como a resolução espacial podem ter um impacto direto na qualidade das análises, especialmente em áreas com alta heterogeneidade espacial. No contexto da região de Brasília, Werneck (2022) destacou a relevância da resolução espacial na investigação da LST em ambientes urbanos. Apesar da alta resolução temporal do sensor MODIS (faz a varredura da terra diariamente), sua resolução espacial de um quilômetro para LST, em alguns casos, pode limitar sua aplicação em estudos na escala local.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ainda, nessa perspectiva, Shi *et al.* (2021) relataram que baixas resoluções espaciais tendem a unir áreas com propriedades físicas diversas, coberturas do solo distintas e morfologias urbanas diferentes. Portanto, um mesmo *pixel* pode agrupar áreas heterogêneas. Almeida, Teodoro e Gonçalves (2021) discutem que os dados térmicos do sensor MODIS são aplicados com maior eficácia em regiões de maiores dimensões, saindo da escala local. Portanto, o sensor MODIS pode não evidenciar diferenças intraurbanas em função de sua escala espacial (Monteiro *et al.*, 2021). A Figura 73 ilustra a situação exposta por Shi *et al.* (2021), mostrando locais com propriedades heterogêneas sendo agrupados em um mesmo *pixel* com a mesma LST.

Figura 73 - Temperatura de superfície diurna com pixel de 1 quilômetro.



Fonte: Dados da PMC [201-], Didan, 2021. Mapa organizado pelo autor, 2023.

Do mesmo modo que a resolução espacial é de fundamental importância para os estudos da climatologia urbana, a análise temporal se mostra determinante para garantir resultados mais consolidados. Sousa e Ferreira (2012) evidenciaram que a LST, por ser uma variável dinâmica, demanda análise temporal para confirmar os padrões observados nas imagens termais, não descartando a validação dos dados com

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

medições locais. No estudo para Colatina, a aquisição da imagem se deu em um período específico, não sendo elaborada uma série temporal.

A justificativa para a escolha de um único período se deu em função do tempo necessário para processar e tratar os dados, além disso, foram escolhidas imagens da estação seca por apresentarem pouca incidência de nuvens. Diante deste fato, condições como precipitação, estações do ano e presença de nuvens podem ocasionar interferência e gerar resultados distorcidos que não refletem o padrão de temperatura de superfície da região.

Outro ponto que merece atenção é a relação entre o NDVI e a LST. Os corpos d'água apresentam temperaturas mais baixas durante o dia e mais elevadas à noite. Ao se analisar o NDVI, a água assume valores próximos a zero ou valores negativos, situação verificada na presente pesquisa. Em seus estudos, Ferreira (2019) removeu os pixels referentes a grandes corpos d'água da Região Metropolitana de São Paulo, tanto para LST quanto para o NDVI, e focou as análises apenas em "superfícies secas" (Ferreira, 2019). Tal direcionamento metodológico poderia ser adotado para pesquisas futuras para Colatina, permitindo o confronto de resultados e análise de qual seria a melhor adequação metodológica.

Ullah *et al.* (2023) verificaram em sua pesquisa que a correlação entre NDVI e LST foi afetada pela presença de corpos hídricos. Diante disso, os autores removeram os dados referentes à água e perceberam que a correlação passou a ser negativa, conforme aponta a literatura. Nesta pesquisa, os dados referentes aos corpos hídricos foram mantidos e verificou-se valores negativos para o NDVI e temperaturas mais amenas para a LST diurna. Dessa forma, provavelmente a correlação entre NDVI e LST pode ter sido afetada, visto que na região de análise se encontra o Rio Doce, numa longa extensão de 34,95 quilômetros e grande largura, chegando a medir 1 quilômetro de distância entre uma margem e outra.

Evidencia-se que uma das classes mais quentes observadas foi a *LCZ D*. Essa realidade chama a atenção para a situação das pastagens de Colatina, indicando possível degradação, fator preocupante visto que dominam 52,18% do perímetro

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

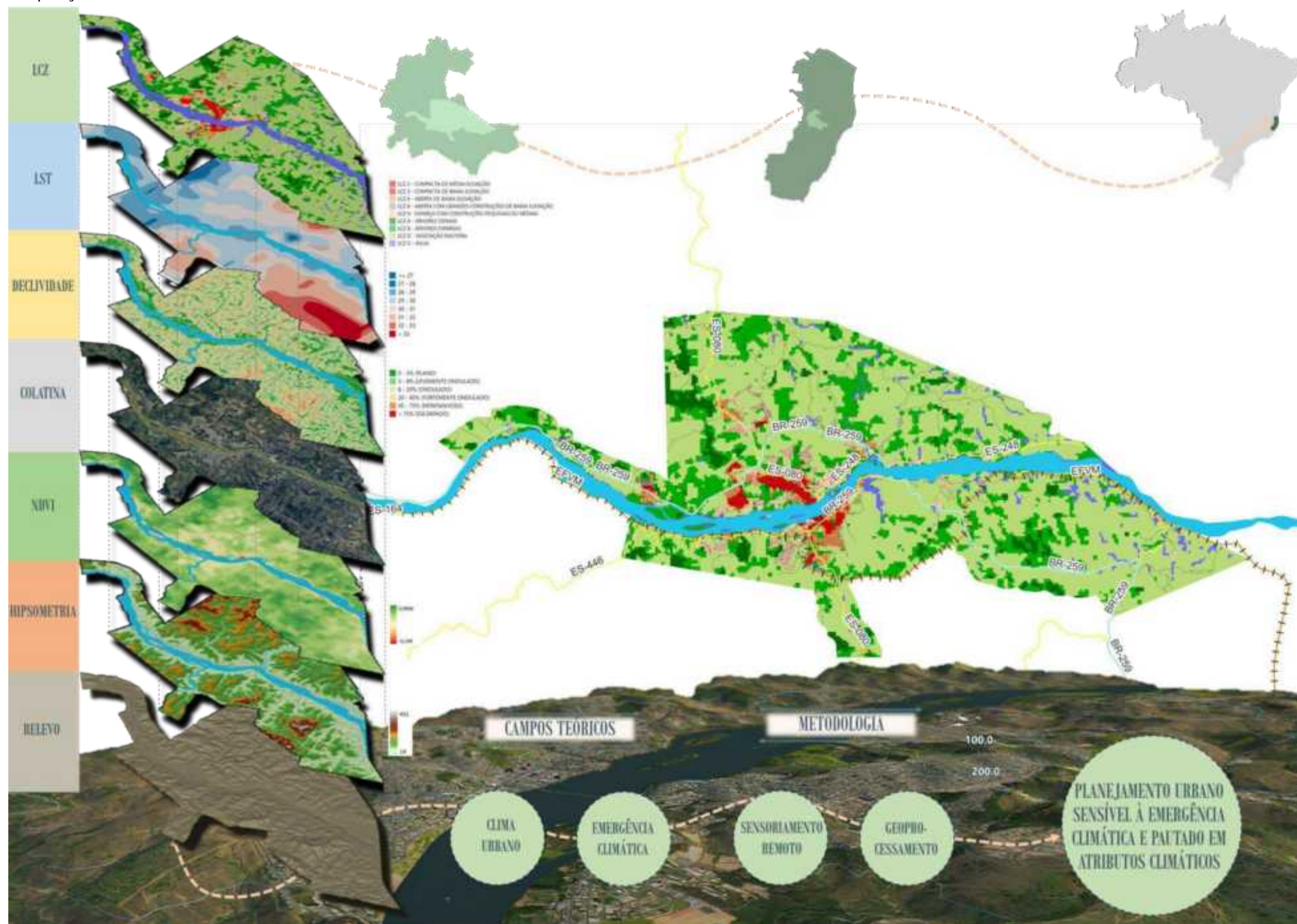
urbano e geram consequências negativas para o microclima. Considerando que Colatina tem apenas 5,59% de seu perímetro urbanizado de fato, é preocupante considerar a possibilidade de mudança no uso do solo tanto para o aumento de áreas urbanizadas, sobretudo na forma dispersa, quanto na transformação de áreas naturais em novas pastagens. Fica evidente a fragilidade ambiental de Colatina frente à sua cobertura do solo, demandando revisão do perímetro urbano e fomento à recuperação da vegetação natural.

Os resultados demonstram a necessidade de considerar diversos fatores na análise de variáveis em ambientes urbanos. Compreender essas relações é crucial para o desenvolvimento de políticas públicas e ações de planejamento urbano que visem promover o desenvolvimento sustentável das cidades.

Com o intuito ilustrar graficamente o percurso desenvolvido na pesquisa, foi elaborada a Figura 74, que traz a sobreposição dos produtos descritos ao longo dos capítulos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 74 - Sobreposição das variáveis de analisadas



Fonte: Dados da PMC [201-]; Didan (2021); LCZ Generator (2023); GEOBASES (2022). Mapa organizado pelo autor, 2024.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cidades contemporâneas enfrentam uma série de desafios complexos e interligados, que exigem soluções multidisciplinares. A rápida urbanização, impulsionada pelo crescimento populacional, coloca pressão sobre os recursos naturais, a infraestrutura urbana e os serviços públicos. As mudanças climáticas intensificam esses desafios, aumentando a frequência e a severidade de eventos climáticos extremos, como secas, inundações e ondas de calor.

No centro dessa problemática está a relação do homem com a cidade. A forma como é ocupado, utilizado e gerenciado o espaço urbano tem um impacto direto no microclima local. A expansão urbana não planejada ou planejada de modo permissivo, a impermeabilização do solo, a poluição atmosférica e a emissão de gases de efeito estufa contribuem para o desequilíbrio do microclima urbano, criando ilhas de calor que são intensificadas pela emergência climática.

Buscou-se amparo na literatura científica para compreender essas variáveis e conhecer suas especificidades. Entender as dinâmicas que acontecem simultaneamente nas cidades é de suma importância para o planejamento urbano e, como discorrido nessa pesquisa, o sensoriamento remoto junto às tecnologias de geoprocessamento têm se mostrado ferramentas potentes na aquisição, manipulação e processamento dos dados.

Nessa perspectiva, a presente pesquisa teve como objetivo analisar espacialmente a temperatura de superfície e sua correlação com a vegetação e morfologia urbana em uma cidade de médio porte. O sensoriamento remoto e o geoprocessamento foram as ferramentas utilizadas tanto para coleta quanto para o tratamento dos dados e sua posterior discussão. Os dados de LST e NDVI foram adquiridos por meio do sensor MODIS, com resolução espacial de um quilômetro e duzentos e cinquenta metros, respectivamente. Para a análise da morfologia urbana, foi utilizado o *LCZ Generator*, aplicativo desenvolvido por Demuzere, Kittner e Bechtel (2021) baseado nas Zonas Climáticas Locais, propostas por Stewart e Oke (2012).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos não demonstraram correlação entre NDVI e LST diurna e noturna, contrastando com a literatura que frequentemente aponta para uma forte correlação negativa entre estas variáveis. Ao analisar a relação entre NDVI e as LCZs, o estudo revelou que as classes urbanas apresentaram valores de NDVI menores em comparação com áreas rurais, devido à maior impermeabilização e a menor cobertura vegetal. No que tange à relação entre LST e LCZs, o estudo evidenciou que classes rurais apresentaram temperaturas de superfície diurna mais elevadas do que as classes urbanas. Além disso, as análises com dados de relevo, como a hipsometria e declividade, não mostraram correlação com a LST.

Como limitação para a pesquisa, observa-se que a utilização do sensor MODIS para análise de temperatura de superfície em cidades médias, como Colatina, apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados, especialmente se forem dispersas, apresentando vazios urbanos. Ressalta-se que a escolha por este sensor se deveu ao fato de disponibilizar dados de LST diurna e noturna e permitir séries temporais melhores (sensor faz uma varredura diária da superfície da terra), possibilitando estudos em distintas épocas do ano e comparações entre elas. Entretanto, a resolução espacial de um quilômetro, embora adequada para estudos em larga escala e em cidades de grande porte como grandes capitais, mostrou ser um dificultador para capturar a heterogeneidade espacial presente em cidades de pequeno e médio porte, com mancha urbana dispersa, como é o caso de Colatina.

Em cidades com essa característica, a mancha urbana se apresenta de forma fragmentada, intercalada com áreas rurais e outros tipos de cobertura do solo. Isso significa que um único *pixel* das imagens pode conter áreas com características físicas distintas, como diferentes tipos de vegetação, materiais de construção, densidades populacionais e níveis de impermeabilização do solo. Essa heterogeneidade espacial dificulta a identificação de padrões precisos na relação entre LST e outros fatores, como o NDVI, e pode levar a interpretações imprecisas.

Para outros estudos em cidades pequenas e médias, no sentido de superar as limitações do sensor MODIS, recomenda-se o uso de sensores com maior resolução espacial. Esses sensores permitem capturar a heterogeneidade espacial com maior

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

precisão e realizar análises térmicas mais detalhadas, possibilitando a identificação de padrões mais robustos na relação entre LST e outros fatores e a melhor compreensão do microclima urbano. Uma possibilidade de estudos futuros para Colatina está em se fazer recortes territoriais específicos.

Outras questões que merecem destaque ao se avaliar os resultados é a situação das pastagens e a extensão do perímetro urbano em Colatina. Dominando mais da metade da área urbana, as pastagens apresentaram temperaturas mais elevadas que a cidade, um indicativo de degradação. A expansão horizontal e dispersa, que contribui para a conversão de áreas rurais em zonas urbanas, agrava ainda mais esse problema. A presença de pastagens degradadas e a perda de áreas rurais impactam diretamente o microclima da cidade.

Com base nos resultados deste estudo, são propostas as seguintes recomendações visando aprimorar o procedimento de trabalho e a precisão dos dados da pesquisa:

- Empregar imagens de sensores com resolução espacial mais elevada com o intuito de examinar a heterogeneidade do território, sobretudo no contexto climático;
- Conduzir investigações que abranjam análises temporais, uma vez que a LST se caracteriza como uma variável de natureza dinâmica, suscetível a alterações decorrentes de fatores sazonais e de precipitação;
- Utilizar linguagens de programação como ferramentas para otimização do processo de trabalho, como elaboração de mapas, gráficos e estatísticas.

Sugere-se como direcionamentos para pesquisas futuras: realizar análises nas estações secas e chuvosas e compreender a influência que a sazonalidade impõe nas variáveis de pesquisa; avaliar como a mudança no uso do solo contribui nos padrões de temperatura de superfície; orientar, com base nos dados de LST e NDVI, a inserção de vegetação urbana em áreas que apresentem temperaturas mais elevadas; aprimorar as possibilidades de análise e difundir os estudos para cidades médias, onde vivem mais de 60% da população brasileira, é relevante para orientar índices

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

urbanísticos, zoneamentos específicos, planejamento urbano e ambiental integrados e o enfrentamento à emergência climática.

Diante do exposto, espera-se que o estudo aqui desenvolvido possa ter contribuído com o debate científico sobre os estudos do clima urbano e suas variáveis. A interdisciplinaridade e a colaboração entre diferentes áreas do conhecimento são essenciais para o avanço das pesquisas e para a superação de possíveis limitações. Ao incorporar os princípios da climatologia urbana no planejamento e na construção das cidades, é possível criar ambientes urbanos mais saudáveis, sustentáveis e resilientes, proporcionando uma melhor qualidade de vida para a população.

## REFERÊNCIA

- ADUAN, R. E., VILELA, M. F., & REIS JÚNIOR, F. B. dos (2004). Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/569371/1/doc119.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.
- AHMED, M. R. *et al.* Opportunities and Challenges of Spaceborne Sensors in Delineating Land Surface Temperature Trends: A Review. **IEEE Sensors Journal**, 2023. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee.org.ez43.periodicos.capes.gov.br/document/10053652>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- AHN, J. *et al.* Atmospheric CO<sub>2</sub> over the last 1000 years: a high-resolution record from the west antarctic ice sheet (wais) divide ice core. **Global Biogeochemical Cycles**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 1-11, 26 maio 2012. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2011gb004247>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2011GB004247>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- ALBANI, V. **Trajetória do crescimento da cidade de Colatina**. 2012. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Artes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em: [https://ape.es.gov.br/Media/ape/PDF/Disserta%C3%A7%C3%B5es%20e%20Teses/ARQUITETURA%20E%20URBANISMO/UFES\\_PPGAU\\_VIVIAN\\_ALBANI.pdf](https://ape.es.gov.br/Media/ape/PDF/Disserta%C3%A7%C3%B5es%20e%20Teses/ARQUITETURA%20E%20URBANISMO/UFES_PPGAU_VIVIAN_ALBANI.pdf). Acesso em: 13 fev. 2023.
- ALBANI, V.; ASSIS, L. C. A forma urbana e a produção do espaço: um estudo sobre a expansão urbana de Colatina, ES. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 3, n. 42, p. 77-100, 2020. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/6652>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- ALBANI, V.; ASSIS, L. C. Projetos de loteamentos e a construção de bairros sustentáveis: estudo de caso em Colatina, Espírito Santo. In: SUSTENTABILIDADE URBANA 14ª Jornada URBENERE e 2ª Jornada CIRES, 2018, Vitória, **Anais...** Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/59318>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- ALBANI, V.; MIRANDA, C. L. Cidade de Colatina, ES: a resiliência de uma cidade entreposto: City of Colatina, ES. **Laboratório de Comércio e Cidade–Labcom-Fauusp: IV**, 2013. Disponível em: [http://www.labcom.fau.usp.br/wp-content/uploads/2015/05/4\\_cincci/016-miranda.pdf](http://www.labcom.fau.usp.br/wp-content/uploads/2015/05/4_cincci/016-miranda.pdf). Acesso em: 12 fev. 2023.
- AL-GHUSSAIN, L. Global warming: Review on driving forces and mitigation. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 38, n. 1, p. 13-21, 2019. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/310773649\\_Global\\_Warming\\_Driving\\_Force\\_s\\_and\\_Mitigation\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/310773649_Global_Warming_Driving_Force_s_and_Mitigation_Review). Acesso em: 13 out. 2022.

ALMEIDA, A. J. P. *et al.* Relação entre o Índice de Vegetação e a Temperatura de Superfície na estimativa e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. 2015. pp. 2047-2054, **Anais...** Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.15.01.30/doc/p0406.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

ALMEIDA, C. R.; TEODORO, A. C.; GONÇALVES, A. Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/techniques: A systematic review. **Environments**, v. 8, n. 10, p. 105, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3298/8/10/105>. Acesso em: 27 abr. 2024.

ALVALÁ, P. *et al.* Emissão de Gases de Efeito Estufa. In: NOBRE, Carlos A; MARENGO, Jose A. (Org.). **Emergência climática em Rede** - Um Olhar Interdisciplinar. 1 a ed. São. José dos Campos: Canal6, 2017. v. 1, p. 231-246. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Douglas-Gherardi/publication/323267555\\_Mudancas\\_Climaticas\\_em\\_Rede\\_-\\_um\\_olhar\\_interdisciplinar/links/5a8b084fa6fdcc6b1a43c52a/Mudancas-Climaticas-em-Rede-um-olhar-interdisciplinar.pdf#page=233](https://www.researchgate.net/profile/Douglas-Gherardi/publication/323267555_Mudancas_Climaticas_em_Rede_-_um_olhar_interdisciplinar/links/5a8b084fa6fdcc6b1a43c52a/Mudancas-Climaticas-em-Rede-um-olhar-interdisciplinar.pdf#page=233). Acesso em: 12 out. 2022.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **Water Vapor and Climate Change**. [202-]. Disponível em: <https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/climatesciencenarratives/its-water-vapor-not-the-Co2.html>. Acesso em: 14 nov. 2022.

AMORIM, A. C. *et al.* Fenômeno das Ilhas de Calor na cidade de Colatina-ES. **Revista Ifes Ciência**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 52-64, 28 ago. 2020. IFES – Instituto Federal do Espírito Santo. <http://dx.doi.org/10.36524/ric.v6i2.801>.

AMORIM, M. C. C. T. *et al.* Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, n. 7, 2009. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/6070>. Acesso em: 4 maio 2023.

AMORIM, M. C. C. Trindade. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. Editora Appris, 2021.

ANDERSON, C. M. *et al.* Natural climate solutions are not enough. **Science**, v. 363, n. 6430, p. 933-934, 2019. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aaw2741>. Acesso em: 21 jan. 2023.

ANDERSON, T. R.; HAWKINS, Ed; JONES, P. D. CO<sub>2</sub>, the greenhouse effect jan. and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. **Endeavour**, v. 40, n. 3, p. 178-187, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160932716300308>. Acesso em: 14 nov. 2022.

ARAI, E. **Simulação de imagens do sensor ETM+ a partir de imagens diárias do sensor MODIS**. 2011. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.02.13.32/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

BANCO MUNDIAL. Relatório de Pobreza e Equidade no Brasil. **Mirando o futuro após duas crises. Sumário Executivo**. Washington DC: Banco Mundial, 2022. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099235007062233198/pdf/P17469105924ae05d0bf1d0da0d29438142.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C.; TORRES, S. **Clima e cidade**: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007. 201 p.

BARRETO, P. A. *et al.* Morar perto de áreas verdes é benéfico para a saúde mental? Resultados do Estudo Pró-Saúde. **Revista de Saúde Pública**, v. 53, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/6q35BywgB4PLN4r4wygkFQg/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2023.

BARROCA, D. A. S. **Dispersão urbana e legislação urbanística na formação do território de Colatina**. 2023. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura - Centro de Artes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2022. Disponível em: [https://sappg.ufes.br/tese\\_drupal/tese\\_17331\\_%5B2023-1%5D%20Denise%20Barroca\\_%20Disserta%E7%E3o%20de%20Mestrado%20PPG AU%20Ufes%20FINAL.pdf](https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_17331_%5B2023-1%5D%20Denise%20Barroca_%20Disserta%E7%E3o%20de%20Mestrado%20PPG AU%20Ufes%20FINAL.pdf). Acesso em: 8 abr. 2024.

BECHTEL, B. *et al.* Generating WUDAPT Level 0 data—Current status of production and evaluation. **Urban climate**, v. 27, p. 24-45, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221209551830302X>. Acesso em: 13 jan. 2024.

BECHTEL, B. *et al.* Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. **Isprs International Journal Of Geo-Information**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 199-219, 2 fev. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi4010199>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/4/1/199>. Acesso em: 13 jan. 2024.

BISWAL, B. K. *et al.* Nature-based Systems (NbS) for mitigation of stormwater and air pollution in urban areas: a review. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 186, p. 106578, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106578>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344922004141>. Acesso em: 23 jan. 2023.

BONATTO, D. A M; GAVA, J. A. Criação de Áreas Verdes Públicas de Lazer e Sua Conexão por Corredores Verdes Urbanos: Análises Socioespaciais Como Subsídio para Uma Maior Equidade na Oferta Em Vitória-ES. **Paisagens Híbridas**, v. 2, n. 1, p. 26, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/ph/article/view/56826>. Acesso em: 15 jun. 2023.

BONATTO, D. A. M. Infraestrutura verde: contribuição para o planejamento urbano e regional. In: Martins, B.C.(Org.). **Melhores Práticas em Planejamento Urbano e Regional**. 1ª. ed. Atena Editora, Ponta Grossa, pp. 339-351, 2019. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/melhores-praticas-em-planejamento-urbano-e-regional>. Acesso em: 14 maio 2023.

BORGES, V. O. *et al.* Zonas climáticas locais e as ilhas de calor urbanas: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 31, n. 18, p. 98–127, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v31i18.15755. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15755>. Acesso em: 22 maio 2023.

BUSTAMANTE, M., OMETTO, J., & MARTINELLI, L. A. (2017). Biodiversidade e ciclos Biogeoquímicos. In: Nobre, C. A., & Marengo, J. A. (Orgs.). **Emergência climática em rede**. Bauru: Canal 6. p. 189-201. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Stoecio-Maia/publication/324411872\\_Seguranca\\_Alimentar/links/5accbc340f7e9bcd519bcf1f/Seguranca-Alimentar.pdf#page=191](https://www.researchgate.net/profile/Stoecio-Maia/publication/324411872_Seguranca_Alimentar/links/5accbc340f7e9bcd519bcf1f/Seguranca-Alimentar.pdf#page=191). Acesso em: 23 nov. 2022.

CAI, Z.; HAN, G.; CHEN, M. Do Water bodies play an important role in the relationship between urban form and land surface temperature?. **Sustainable cities and society**, v. 39, p. 487-498, 2018. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670717315135?casa\\_token=VqEsoWIFi6QAAAAA:YNf30kl6YW1clC\\_ndGOLdsXLigCuq-HeQaPyNfkcT9LVzGjR2aAI4Hm5fgKJjKN21RFAatNYcck](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670717315135?casa_token=VqEsoWIFi6QAAAAA:YNf30kl6YW1clC_ndGOLdsXLigCuq-HeQaPyNfkcT9LVzGjR2aAI4Hm5fgKJjKN21RFAatNYcck). Acesso em: 27 fev. 2024.

CAMPISANO, J. Milankovitch cycles, paleoclimatic change, and hominin evolution. **Nature Education Knowledge**, v. 3, n. 5, 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/milankovitch-cycles-paleoclimatic-change-and-hominin-evolution-68244581/#>. Acesso em: 14 nov. 2022.

CARRASCO, R. A. *et al.* Land use/land cover change dynamics and their effects on land surface temperature in the western region of the state of São Paulo, Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 20, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-020-01664-z>. Acesso em: 1 mar. 2024.

CARVALHO, J. L. N. *et al.* Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277-290, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QKJZTHq3WhVSXHgVMyskHCL/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CEREDA JUNIOR, A. (Org. Trad.) **Tudo o que você precisa saber sobre o NDVI: Perguntas & Respostas para a Agricultura 4.0 - parte 1**, maio 2020. Disponível em <https://geografiadascoisas.com.br/NDVI>. Acesso em: 21 maio 2023.

CHANG, Y. *et al.* Monitoring diurnal dynamics of surface urban heat island for urban agglomerations using ECOSTRESS land surface temperature observations. **Sustainable Cities and Society**, v. 98, p. 104833, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670723004444>. Acesso em: 5 mar. 2024

CHEN, W. *et al.* Evaluation of urbanization dynamics and its impacts on surface heat islands: A case study of Beijing, China. **Remote Sensing**, v. 9, n. 5, p. 453, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/5/453>. Acesso em: 23 fev. 2024.

CHOUDHURY, U. *et al.* Assessing land use/land cover changes and urban heat island intensification: A case study of Kamrup Metropolitan District, Northeast India (2000–2032). **Earth**, v. 4, n. 3, p. 503-521, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4834/4/3/26>. Acesso em: 4 mar. 2024.

CLIMATE-DATA. Colatina Clima (Brasil). Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/espirito-santo/colatina-4476/>. Acesso em: 5 mai. 2022.

COELHO, A. L. N. Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada. **Geografares**, [S. l.], n. 7, 2009. DOI: 10.7147/GEO7.156.

CORREIA, R. L. *et al.* **O espaço urbano**. Ática, 1989.

COSTALONGA, L. J. S *et al.* Efeito da Morfologia Urbana no Conforto Ambiental. In: II Congresso Internacional de Arquitetura e Cidade & X Coletânea Arqurb, 2019, Vila Velha. **Anais** II Congresso Internacional de Arquitetura e Cidade & X Coletânea Arqurb, 2019. p. 263-274.

CUNHA, A. V. L. [Sem título]. 2023. 1 fotografia.

DA CRUZ, G.C.F. *et al.* Temperatura da superfície terrestre nas áreas urbanas e rurais de Florínea-SP e Cabralia Paulista-SP. **Revista Brasileira de desenvolvimento**, [S. l.], v. 1, pág. 1833–1850, 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n1-125. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/56156>. Acesso em: 8 mar. 2024.

DEBIAZI, P. R.; SOUZA, L. C. L. Avaliação do Ambiente Térmico de Um Campus Universitário Com o Auxílio de Uma Plataforma SIG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Campinas, 2015. **Anais...** Campinas, 2015. Disponível em

DEMUZERE, M; KITTNER, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 637455, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.637455/full>. Acesso em: 20 maio 2023.

DEVECCHI, A. M. Políticas de compactação urbana. **arq. urb**, n. 12, p. 78-94, 2014. Disponível em: <https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/283/248>. Acesso em: 9 maio 2023.

DIDAN, K. MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V061. 2021, distributed by NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center, <https://doi.org/10.5067/MODIS/MYD13Q1.061>. Accessed 2024-04-0. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/myd13q1v061/#citation>. Acesso em: 8 abri. 2024.

DUARTE, D. H. S. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano. Contribuições a uma abordagem interdisciplinar**. 2015. Tese (Livre Docência em Desempenho Térmico, Acústico e Luminoso e Eficiência Energética de Edificações) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. doi:10.11606/T.16.2016.tde-11052016-104104. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-11052016-104104/pt-br.php>. Acesso em: 2 maio 2023.

DUARTE, D. H. S. *et al.* The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. **Urban Climate**, v. 14, p. 224-239, 2015. Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar\\_url?url=https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095515300225%3Fcasa\\_token%3DsteMa2nilb8AAAAA:N6lpNzXg0j5KhOZ9a2NVa3pnwsjTzlwWnNfhYC3iHYvSjYByy6tn1xXDqWOVGC\\_IIZaem0CdZ8&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=6522698768512735864&ei=D62LZMOeB-TUsQLSxJegAw&scisig=AGIGAw-9XLHC3C\\_Kt1yBkFP5xCta](https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095515300225%3Fcasa_token%3DsteMa2nilb8AAAAA:N6lpNzXg0j5KhOZ9a2NVa3pnwsjTzlwWnNfhYC3iHYvSjYByy6tn1xXDqWOVGC_IIZaem0CdZ8&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=6522698768512735864&ei=D62LZMOeB-TUsQLSxJegAw&scisig=AGIGAw-9XLHC3C_Kt1yBkFP5xCta). Acesso em: 15 jun. 2023.

DUARTE, T. E. P. *et al.* O Papel da Cobertura Vegetal nos Ambientes Urbanos e sua Influência na Qualidade de Vida nas Cidades. **Desenvolvimento em Questão**, [S. l.], v. 15, n. 40, p. 175–203, 2017. DOI: 10.21527/2237-6453.2017.40.175-203. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/5859>. Acesso em: 26 fev. 2023.

ELMARAKEY, E.; ELKADI, H. Impact of urban morphology on Urban Heat Island in Manchester's transit-oriented development. **Journal of Cleaner Production**, v. 434, p. 140009, 2024. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez120.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652623041677?via%3Dihub>. Acesso em: 23 fev. 2024.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

ENRICH-PRAST, A., *et al.* (2018). Ciclos biogeo-químicos y cambios globales. In: Marquet, P., Val-ladares, F., Magro, S., Gaxiola, A., & Enrich-Prast, A. (Ed.). **Cambio Global: una mirada desde Iberoamé-rica**. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). p. 111-125.

ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y.; MYINT, S. W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. **Science of the Total Environment**, v. 577, p. 349-359, 2017.

Disponível em:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716323853?casa\\_token=R03Xz9ww6ewAAAAA:f71ql9oq7L2kKEfeowBDf5bjylwOOvbKm01sC4qCFZg8qwu2-BA1ii8Xuvdl285GFdE-vV6K](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716323853?casa_token=R03Xz9ww6ewAAAAA:f71ql9oq7L2kKEfeowBDf5bjylwOOvbKm01sC4qCFZg8qwu2-BA1ii8Xuvdl285GFdE-vV6K). Acesso em: 8 mar. 2024.

ES FALA. [sem título]. 2023. Fotografia. Disponível em:

<https://www.esfala.com.br/2024/01/24/colatina-se-prepara-para-o-retorno-triunfal-do-colafolia/>. Acesso em: 15 mai. 2024.

FARAGALLAH, R. N.; RAGHEB, R. A. Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 3, p. 101609, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447921003749>. Acesso em: 4 mar. 2024.

FARIAS, A. M. L. **O Boxplot**. Departamento de Estatística (GET/UFF) da Universidade Federal Fluminense - Instituto De Matemática, [201-?]. Disponível em:

<http://www.cdme.im-uff.mat.br/constroiboxplot/constroiboxplot-html/boxplot.pdf>.

Acesso em: 2 abr. 2024.

FERREIRA, L. S. **Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana**: um retrato da região metropolitana de São Paulo. 2019. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. doi:10.11606/T.16.2019.tde-02102019-173844. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-02102019-173844/pt-br.php>. Acesso em: 1 maio 2023.

FERREIRA, L. S.; DUARTE, D. H. S. Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. **Urban Climate**, v. 27, p. 105-123, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2212095518303389?via%3Dihub>. Acesso em: 26 maio 2023.

FIALHO, E. S.; SANTOS, L. G. F. Clima, Cidade e Crescimento: Uma investigação da expansão norte da cidade de Viçosa-MG, por meio da termografia de superfície (2000-2019). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 383-414, 2023. Disponível em:

<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15766/9307>. Acesso em: 6 mar. 2024.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009. Disponível em: [https://dirin.s3.amazonaws.com/drive\\_materias/1666287394.pdf](https://dirin.s3.amazonaws.com/drive_materias/1666287394.pdf). Acesso em: 23 abr. 2024.

FLORES R, J. L.; PEREIRA FILHO, A. J.; KARAM, H. A. Estimation of long term low resolution surface urban heat island intensities for tropical cities using MODIS remote sensing data. **Urban Climate**, v. 17, p. 32-66, 2016. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez43.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2212095516300220?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jun. 2023.

JORNAL FOLHA 1. [sem título]. 2023. Fotografia. <https://jornalfolha1.com.br/2023/08/22/colatina-a-mae-de-baixo-quandu-comemora-hoje-102-anos-de-emancipacao-politica/>. Acesso em: 15 mai. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HOOKE, R. L.; MARTÍN-DUQUE, J. F.; PEDRAZA, J. G. Land transformation by humans: a review. **Environ. Monit. Assess.**, v. 12, p. 43, 2013. Disponível em: <https://www.geosociety.org/gsatoday/archive/22/12/article/i1052-5173-22-12-4.htm>. Acesso em: 25 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Brasil: **Redes geográficas**. Áreas Urbanizadas. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 16 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Portal IBGE Cidades**: Panorama. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/colatina/panorama>. Acesso em: 4 agosto 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil) - IBGE. **Malha de setores censitários**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhasterritoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoesintramunicipais.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 4 agosto 2022.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER. **PROATER**. Colatina/ES, 2020. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Colatina.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (Espírito Santo). Governo do Estado do Espírito Santo. **Diagnóstico de Colatina**. [s.l.]: IJSN, 1977. 118 p. Curso de Desenvolvimento Urbano e Regional. Disponível em: [http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20120720\\_ij00040\\_diagnosticodecolatina.pdf](http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20120720_ij00040_diagnosticodecolatina.pdf). Acesso em: 11 fev. 2023.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (Espírito Santo). Governo do Estado do Espírito Santo. **Plano diretor físico-territorial urbano de Colatina**. [s.l.]: IJSN, 1982b. 104 p. Disponível em: [http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20120801\\_ij00167\\_planodiretorfisicoterritorialurbanocolatina\\_v1.pdf](http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20120801_ij00167_planodiretorfisicoterritorialurbanocolatina_v1.pdf). Acesso em: 11 fev. 2023.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (Espírito Santo). Governo do Estado do Espírito Santo. **Programa de desenvolvimento regional integrado: Região Programa II - Colatina**. [s.l.]: IJSN, 1982a. 131 p. Disponível em: [http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20120803\\_ij00189\\_pdri\\_colatina\\_v1\\_tab.pdf](http://www.ijsn.es.gov.br/ConteudoDigital/20120803_ij00189_pdri_colatina_v1_tab.pdf). Acesso em: 11 fev. 2023.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). **Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo**. Vitória, ES, 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, Reino Unido e Nova York, 2021, Nova York, Estados Unidos, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896. Disponível em: [https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf). Acesso em: 7 out. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, Reino Unido e Nova York, 2022, Nova York, Estados Unidos, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

IRFEEY, A. M. M. *et al.* Sustainable mitigation strategies for urban heat island effects in urban areas. **Sustainability**, v. 15, n. 14, p. 10767, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10767>. Acesso em: 4 mar. 2024.

JEON, G; PARK, Y; GULDMANN, J. Impacts of Urban Morphology on Seasonal Land Surface Temperatures: Comparing Grid-and Block-Based Approaches. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 12, n. 12, p. 482, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/12/12/482>. Acesso em: 27 fev. 2024.

JUNGES, A. L. *et al.* Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. Cuiabá.

Vol. 13, n. 5 (dez. 2018), p. 126-151, 2018. Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar\\_url?url=https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/194261&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=14608414201978075501&ei=g6ZyY8vME4OTy9YPI7GPwA0&scisig=AAGBfm1S3NQlmmypSjWQG85Ut3iFLE8ifA](https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/194261&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=14608414201978075501&ei=g6ZyY8vME4OTy9YPI7GPwA0&scisig=AAGBfm1S3NQlmmypSjWQG85Ut3iFLE8ifA). Acesso em: 14 nov. 2022.

KHANDEKAR, M. L.; MURTY, T. S.; CHITTIBABU, P. The global warming debate: A review of the state of science. **Pure and Applied Geophysics**, v. 162, n. 8, p. 1557-1586, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00024-005-2683-x.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

LACIS, A. A. *et al.* Atmospheric CO<sub>2</sub>: Principal control knob governing Earth's temperature. **Science**, v. 330, n. 6002, p. 356-359, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/47429333\\_Atmospheric\\_CO2\\_Principal\\_Control\\_Knob\\_Governing\\_Earth's\\_Temperature](https://www.researchgate.net/publication/47429333_Atmospheric_CO2_Principal_Control_Knob_Governing_Earth's_Temperature). Acesso em: 14 nov. 2022.

LEHMANN, S. Growing Biodiverse Urban Futures: renaturalization and rewilding as strategies to strengthen urban resilience. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 2932, 8 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13052932>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2932>. Acesso em: 22 jan. 2023.

LEITE, C.; AWAD, J. C. M. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Bookman, 2012.

LEMOS, L. O.; OSCAR JÚNIOR, A. C.; MENDONÇA, F. Urban canyon in the CBD of Rio de Janeiro (Brazil): Thermal profile of avenida rio branco during summer. **Atmosphere**, v. 13, n. 1, p. 27, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/13/1/27>. Acesso em: 2 mar. 2024.

LEWIS, S. L. *et al.* Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. **Nature**, v. 568, n. 7750, p. 25-28, 2019. Disponível em: [https://idp.nature.com/authorize/casa?redirect\\_uri=https://www.nature.com/articles/d41586-019-01026-8&casa\\_token=XLTnckVtmmwAAAAA:NswHqgCt12p6lsV6xgqCg\\_wgpy7oIDgloTMxlMzK-Oxt3-x7EbfLseZntlqRqPoZEsaDBKZ5\\_I0EoJnDig](https://idp.nature.com/authorize/casa?redirect_uri=https://www.nature.com/articles/d41586-019-01026-8&casa_token=XLTnckVtmmwAAAAA:NswHqgCt12p6lsV6xgqCg_wgpy7oIDgloTMxlMzK-Oxt3-x7EbfLseZntlqRqPoZEsaDBKZ5_I0EoJnDig). Acesso em: 21 jan. 2023.

LINDBERG, F.; GRIMMOND, C. S. B. Nature of vegetation and building morphology characteristics across a city: influence on shadow patterns and mean radiant temperatures in London. **Urban Ecosystems**, v. 14, p. 617-634, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com.ez43.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11252-011-0184-5>. Acesso em: 16 ago. 2023.

LIU, X. *et al.* Tree species richness increases ecosystem carbon storage in subtropical forests. **Proceedings Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [S.L.], v. 285, n. 1885, p. 20181240, 22 ago. 2018. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1240>. Disponível em:

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2018.1240#d1e1346>. Acesso em: 22 jan. 2023.

LOPES, L. F. D. Métodos quantitativos aplicados ao comportamento organizacional. **Santa Maria: Voix**, v. 266, 2018. Disponível em: <https://www.gpcet.com/wp-content/uploads/2023/05/E-book.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2024.

MASIERO, E.; SOUZA, L. C. L. Variação de umidade absoluta e temperatura do ar intraurbano nos arredores de um corpo d'água. **Ambiente Construído**, v. 13, p. 25-39, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/ZVWy9LnZDGQwcf89nRjJQFy/?format=html>. Acesso em: 27 fev. 2024.

MENDES, P.; SRBEK-ARAUJO, A. C. Effects of land-use changes on Brazilian bats: a review of current knowledge. **Mammal Review**, v. 51, n. 1, p. 127-142, 2021. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mam.12227?casa\\_token=NFsaY0fnjBwAAAA:s0dqUCVEVfwB6t4NX-paR-gm\\_oixhaLv7JXnLMB3knXI9HXAd\\_1XQS7JsovPsW9-zB5nn4IEOsU2Xit6Q](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mam.12227?casa_token=NFsaY0fnjBwAAAA:s0dqUCVEVfwB6t4NX-paR-gm_oixhaLv7JXnLMB3knXI9HXAd_1XQS7JsovPsW9-zB5nn4IEOsU2Xit6Q). Acesso em: 25 fev. 2023.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2015.

MILLS, G. Urban climatology: History, status and prospects. **Urban climate**, v. 10, p. 479-489, 2014. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095514000443?casa\\_token=5cLaUb\\_Onp8AAAAA:wx5I5TYW6D-pPwsuGT-q9eu-tstbsgA2LAUXcAp32Xaw8CyO55OxARyQvbAe4lyl4KZOxw4K0PI](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095514000443?casa_token=5cLaUb_Onp8AAAAA:wx5I5TYW6D-pPwsuGT-q9eu-tstbsgA2LAUXcAp32Xaw8CyO55OxARyQvbAe4lyl4KZOxw4K0PI). Acesso em: 15 ago. 2023.

MONTEIRO, F. F. *et al.* Assessment of Urban Heat Islands in Brazil based on MODIS remote sensing data. **Urban Climate**, v. 35, p. 100726, 2021. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095519303554?casa\\_token=EhYIO\\_56AGkAAAAA:B-S2MbJHgdKyf5eQinVvUI3EEAhIV3paySBN8AE3fCJU-PCWf4EN0v7QdIQ-I58MQRBWJ0UV9uo](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095519303554?casa_token=EhYIO_56AGkAAAAA:B-S2MbJHgdKyf5eQinVvUI3EEAhIV3paySBN8AE3fCJU-PCWf4EN0v7QdIQ-I58MQRBWJ0UV9uo). Acesso em: 3 mar. 2024.

MOREIRA, M. S. *et al.* Regressão linear simples e múltipla. **Bioestatística quantitativa aplicada**. Porto Alegre: UFRGS, 2020. Cap. 10, p. 197-216, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/213489/001117628.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2024.

NADALIN, V.; IGLIORI, D. Espreadimento urbano e periferização da pobreza na região metropolitana de São Paulo: evidências empíricas. **EURE (Santiago)**, v. 41, n. 124, p.

91-111, 2015. Disponível em: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612015000400005&script=sci\\_arttext&lng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612015000400005&script=sci_arttext&lng=en). Acesso em: 8 maio 2023.

NASCIMENTO, D.; OLIVEIRA, I.; LUIZ, G. Panorama dos sistemas de classificação climática e as diferentes tipologias climáticas referentes ao estado de Goiás e ao Distrito Federal/Brasil. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 5, n. 2, p. 59-86, 17 fev. 2017. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/5769>. Acesso em: 19 fev. 2024.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Global Climate Change: Vital sign of the Planet**, 2022. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas de Clima do Brasil 1970-2019. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**, 2021. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-e-suas-implicacoes-para-as-metas-climaticas-do-brasil-1970-2020>. Acesso em: 24 nov. 2022.

OKE, T. R. *et al.* **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 546 p.

OLIVEIRA, B. Boxplot: Como interpretar? **Statplace**, 2019. Disponível em: <https://statplace.com.br/blog/como-interpretar-um-boxplot/#:~:text=ele%20%C3%A9%20formado%3F-O%20boxplot%20ou%20diagrama%20de%20caixa%20%C3%A9%20uma%20ferramenta%20gr%C3%A1fica,%C3%A9%20uma%20disposi%C3%A7%C3%A3o%20gr%C3%A1fica%20comparativa>. Acesso em: 2 abr. 2024.

OLIVEIRA, D. D. R. **Fatores influentes sobre desastres naturais relacionados às águas urbanas: estudo em Colatina – ES**. 2023. 190 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) –Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro de Artes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2023. Disponível em: [https://sappg.ufes.br/tese\\_drupal/tese\\_17056\\_Disserta%E7%E3o-%20Dayanne%20Diwlyan%20Raasch%20de%20Oliveira.pdf](https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_17056_Disserta%E7%E3o-%20Dayanne%20Diwlyan%20Raasch%20de%20Oliveira.pdf). Acesso em: 15 jun. 2023.

OLIVEIRA, D. D. R.; BONATTO, D. A. M. Identificação e descrição dos problemas de ordem Climática Observados em Colatina-Es. In: XIX Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional (ANPUR), 2022, Blumenau. **Anais...** Blumenau: ENANPUR, 2022. V. 19. P. 1-22. Disponível em: [https://www.sisgeenco.com.br/anais/enanpur/2022/arquivos/GT7\\_SEM\\_283\\_261\\_2021130224935.pdf](https://www.sisgeenco.com.br/anais/enanpur/2022/arquivos/GT7_SEM_283_261_2021130224935.pdf). Acesso em: 15 jun. 2023.

OLIVEIRA, D. D. R.; SIMÕES, R. D.; BONATTO, D. A. M. Aplicação do Parâmetro de Densidade Populacional sob a Ótica do Urbanismo Sustentável em Colatina-ES. In: XIX Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional (ANPUR), 2022, Blumenau. **Anais...** Blumenau: ENANPUR, 2022. V. 19. P. 1-22. Disponível em: [https://www.sisgeenco.com.br/anais/enanpur/2022/arquivos/GT5\\_SEM\\_268\\_261\\_20211130190323.pdf](https://www.sisgeenco.com.br/anais/enanpur/2022/arquivos/GT5_SEM_268_261_20211130190323.pdf)

PESSI, D. D. *et al.* Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios. **Terr@ Plural**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 237-251, 2019. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). <http://dx.doi.org/10.5212/terraplural.v.13i3.0016>. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/tp/article/view/13100/209209212640>. Acesso em: 14 maio 2023.

PESSIM, L. F., BONATTO, D. A. M. Emissões de CO<sub>2</sub> em Colatina-ES: uma análise das fragilidades ambientais. In: 2º Congresso Internacional de Sustentabilidade Urbana, 2. 2022, Vitória. **Anais [...]**. Vitória: UFES, 2022. p. 13- 22. ISBN: 978-989-53626-0-8. Disponível em: <https://sustentaurbana.wixsite.com/congresso2022>. Acesso em: 20 mai. 2024.

PIRES, E. G.; VELOSO, G. A. Variação da temperatura de superfície diurna e noturna no município de Palmas-TO. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 1449-1452, 2019, Palmas, **Anais...** Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/08.30.11.13/doc/97161.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2023.

POORTER, L. *et al.* Biomass resilience of neotropical secondary forests. **Nature**, [S.L.], v. 530, n. 7589, p. 211-214, fev. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature16512>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature16512#citeas>. Acesso em: 22 jan. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE COLATINA (PMC). **Arquivo digital em formato .dwg da cidade**. [201-].

QGIS, Geographic Information System. Versão 3.22.7. **QGIS Association**, 2022. Disponível em: <https://www.qgis.org/>. Acesso em: 4 agosto 2022.

RIBEIRO, B. M. G. *et al.* Estudo da variância em imagens MODIS para diferentes classes de coberturas do solo: estudo de caso em Querência-MT. In: **Proceedings of the “2009 XIV Brazilian Symposium on Remote Sensing**. 2009. p. 25-30. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.22.13.29/doc/1005-1012.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

RIBEIRO, M. P.; MELLO, K.; VALENTE, R. A. Avaliação da estrutura da paisagem visando à conservação da biodiversidade em paisagem urbanizada. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 819-834, 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cflo/a/nFzWXDFyBFGGZRNvthFH/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 fev. 2023.

RIEBEEK, H. **Global Warming**. 2010. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ROBBA, F. Recuperação paisagística e ambiental do Vale do Rio Paúba: estudos para um plano de espaços livres. **Paisagem e Ambiente**, [S.L.], n. 24, p. 157, 31 dez. 2007. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i24p157-169>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/85791/88550>. Acesso em: 27 fev. 2021.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013. 171p. Disponível em: [http://airesfernandes.weebly.com/uploads/5/1/6/5/5165255/principios\\_bioclimticos\\_para\\_o\\_desenho\\_urbano.pdf](http://airesfernandes.weebly.com/uploads/5/1/6/5/5165255/principios_bioclimticos_para_o_desenho_urbano.pdf). Acesso em: 1 maio 2023.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS Symposium, 3, 1973. **Anais ... NASA SP - 351 I**, p. 309-317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 24 maio 2023.

ROYER, D. L. *et al.* CO<sub>2</sub> as a primary driver of phanerozoic climate. **GSA today**, v. 14, n. 3, p. 4-10, 2004. Disponível em: <http://www.atmosedu.com/Geol390/articles/RoyeretalCO2GSAToday'04PhanerozoicClimate.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2022.

SAYÃO, V. M. *et al.* Land use/land cover changes and bare soil surface temperature monitoring in southeast Brazil. **Geoderma Regional**, v. 22, p. e00313, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009420300626>. Acesso em: 1 mar. 2024.

SEDDON, N. *et al.* Getting the message right on nature-based solutions to climate change. **Global change biology**, v. 27, n. 8, p. 1518-1546, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez43.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1111/gcb.15513>. Acesso em: 21 jan. 2023.

SEDDON, N. *et al.* Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [S.L.], v. 375, n. 1794, p. 20190120, 27 jan. 2020. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>. Disponível em: [https://royalsocietypublishing-org.translate.goog/doi/full/10.1098/rstb.2019.0120?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt-BR&\\_x\\_tr\\_pto=wapp#d1e751](https://royalsocietypublishing-org.translate.goog/doi/full/10.1098/rstb.2019.0120?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=wapp#d1e751). Acesso em: 21 jan. 2023.

SHARMA, M. *et al.* Sensitivity of normalized difference vegetation index (NDVI) to land surface temperature, soil moisture and precipitation over district Gautam Buddh Nagar, UP, India. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, p. 1-11,

2021. Disponível em:

[https://scholar.google.com/scholar\\_url?url=https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-021-02066-1&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=6526136074996887127&ei=tGiMZPuDH-aay9YPvpKEgAY&scisig=AGIGAw-3S8AxwTOG3uyyD0KW88SD](https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-021-02066-1&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=6526136074996887127&ei=tGiMZPuDH-aay9YPvpKEgAY&scisig=AGIGAw-3S8AxwTOG3uyyD0KW88SD). Acesso em: 16 jun. 2023.

SHI, H. *et al.* Urban heat island and its regional impacts using remotely sensed thermal data—a review of recent developments and methodology. **Land**, v. 10, n. 8, p. 867, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/8/867>. Acesso em: 27 abr. 2024.

SILVA, B. G.; SILVA, C. F. O Impacto da Vegetação Urbana no Conforto Térmico na Escala Local do Distrito Federal – D F. **MIX Sustentável**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 89-98, mai. 2020. ISSN 24473073. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>. Acesso em: 1 maio 2023. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n2.89-98>.

SILVA, C. R. *et al.* Analysis of the phenology dynamics of Brazilian caatinga species with NDVI time series. **Cerne**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 48-58, mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201824012487>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/Zx4n4GnbHdK3cRQK4FzGggg/?lang=en>. Acesso em: 01 fev. 2024.

SILVA, I. A.; FIALHO, E. S.; SOUZA ALVES, R. Análise preliminar do sítio de duas pequenas cidades da zona da mata mineira: uma contribuição aos estudos de clima urbano. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 135–149-135–149, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/download/2485/2293>. Acesso em: 11 ago. 2023.

SIMÕES, R. M.; MENDONÇA, E. M. S. Evolução Urbana de Colatina-ES e a Transformação do Papel do Rio Doce no Sistema de Espaços Livres. **X Colóquio Quapá-Sel– Brasília**, 2015. Disponível em: <http://quapa.fau.usp.br/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Evolu%C3%A7%C3%A3o-urbana-de-Colatina-ES-e-a-transforma%C3%A7%C3%A3o-do-papel-do-Rio-Doce-no-sistema-de-espa%C3%A7os-livres.pdf>. Acesso em: 14 maio 2023.

SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (Espírito Santo) - GEOBASES. Governo do Estado do Espírito Santo. **IEMA - Mapeamento ES - 2012-2015**. 2022. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/links-para-mapas1215>. Acesso em: 13 fev. 2023.

SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (Espírito Santo) - GEOBASES. Governo do Estado do Espírito Santo. Downloads. 2023. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/downloads>. Acesso em: 16 FEV. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE CADASTRO AMBIENTAL RURAL (Brasil). Serviço Florestal Brasileiro. **Imóveis**. 2021. Ministério da Agricultura. Disponível em: <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em: 23 dez. 2023.

SMITHA, M. V. Causes and effects of global warming. **Indian Journal Of Science And Technology**, Chennai, v. 4, n. 3, p. 226-229, mar. 2011. Disponível em: <https://indjst.org/articles/causes-and-effects-of-global-warming>. Acesso em: 13 nov. 2022.

SOUSA, S. B.; FERREIRA, L. G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002–2011). **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 15, 2012. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/7631>. Acesso em: 26 abr. 2024.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/93/12/bams-d-11-00019.1.xml>. Acesso em: 20 maio 2023.

STONE, B.; VARGO, J.; HABEEB, D. Managing climate change in cities: will climate action plans work?. **Landscape And Urban Planning**, [S.L.], v. 107, n. 3, p. 263-271, set. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.05.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204612001843#sec0040>. Acesso em: 4 maio 2023.

TV GAZETA ES. [sem título]. 2021. Fotografia. Disponível em: <https://redeglobo.globo.com/tvgazetaes/em-movimento/noticia/vila-das-artes-zoologico-cristo-redentor-de-colatina-e-muito-mais-no-em-movimento-24.ghtml>. Acesso em: 15 mai. 2024.

ULLAH, W. *et al.* Analysis of the relationship among land surface temperature (LST), land use land cover (LULC), and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic elements in the lower Himalayan region. **Heliyon**, v. 9, n. 2, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023005297>. Acesso em: 24 fev. 2024.

UN-HABITAT. **World Cities Report 2022**: envisaging the future of cities. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme (Un-Habitat), 2022. 422 p. Disponível em: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr\\_2022.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf). Acesso em: 22 jan. 2023.

VERDONCK, Marie-Leen *et al.* The Human Influence Experiment (Part 2): guidelines for improved mapping of local climate zones using a supervised classification. **Urban Science**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 27, 28 fev. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/urbansci3010027>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2413-8851/3/1/27>. Acesso em: 09 jan. 2023.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5656337/mod\\_resource/content/0/Voogt%20Oke%201997%20thermal%20remote%20sensing%20of%20urban%20climates.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5656337/mod_resource/content/0/Voogt%20Oke%201997%20thermal%20remote%20sensing%20of%20urban%20climates.pdf). Acesso em: 19 maio 2023.

WERNECK, D. R.; ROMERO, M. A. B. Exploring the Association Between Satellite Indices and Local Climate Zones in Brasília, Brazil. In: Passive Low Energy Architecture - PLEA 2022, 2022, Santiago, **anais...** Will Cities Survive? Santiago do Chile, 2022. v. 2. p. 555-560.

WERNECK, D. R. **Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre as zonas climáticas locais (LCZ): um estudo para a área urbana do Distrito Federal. 2022. 174 f., il. 2022.** Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: [http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/45320/1/2022\\_DanielaRochaWerneck.pdf](http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/45320/1/2022_DanielaRochaWerneck.pdf). Acesso em: 31 dez. 2023.

WOLFFENBÜTTEL, A. O que é? - Índice de Gini. **Desafios do Desenvolvimento**, Brasília, v. 4, n. 1, p. 80-81, 01 nov. 2004. Anual. IPEA (ISSN 2359-5264). Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/desafios/images/stories/PDFs/desafios004\\_completa.pdf](https://www.ipea.gov.br/desafios/images/stories/PDFs/desafios004_completa.pdf). Acesso em: 12 abr. 2024.

WORLD URBAN DATABASE AND ACCESS PORTAL TOOLS. Create LCZ Classification – Old Procedure (no longer supported). **WUDAPT**, 2023. Disponível em: <https://www.WUDAPT.org/create-LCZ-classification/create-LCZ-classification-old/>. Acesso em: 23 maio 2023.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S. A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 325-349, 2004. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165513>. Acesso em: 13 nov. 2022.

XIE, J. *et al.* Evaluating land-surface warming and cooling environments across urban-rural local climate zone gradients in subtropical megacities. **Building and Environment**, v. 251, p. 111232, 2024. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013232400074X?casa\\_token=O7OxoJQ-IlcAAAAA:gsfvvaZzkKx0N7SYTEdmdjFP2ZF0Lg2N7v1p9B3zc\\_mCcTJbB5G8AVouS\\_pjUmtsiBcu2BJp](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013232400074X?casa_token=O7OxoJQ-IlcAAAAA:gsfvvaZzkKx0N7SYTEdmdjFP2ZF0Lg2N7v1p9B3zc_mCcTJbB5G8AVouS_pjUmtsiBcu2BJp). Acesso em: 28 mar. 2024.

YU, G. M. **Seqüestro Florestal de carbono no Brasil–dimensões Políticas, socioeconômicas e ecológicas.** 2004. 293f. 2004. Tese de Doutorado. (Tese Doutorado Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: [https://iieb.org.br/wp-content/uploads/2019/01/trab\\_tese\\_chang\\_sequestro\\_florestal.pdf](https://iieb.org.br/wp-content/uploads/2019/01/trab_tese_chang_sequestro_florestal.pdf). Acesso em: 19 nov. 2022.