

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

KAMILLE CZERSKI GASTLER

A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE E O PROCESSO DE
URBANIZAÇÃO DE PONTA GROSSA- PR ENTRE 1992 E 2022: COM DESTAQUE
PARA QUATRO ÁREAS COM IMPLEMENTAÇÃO DE NOVOS LOTEAMENTOS

PONTA GROSSA
2025

KAMILLE CZERSKI GASTLER

A TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE E O PROCESSO DE
URBANIZAÇÃO DE PONTA GROSSA- PR ENTRE 1992 E 2022: COM DESTAQUE
PARA QUATRO ÁREAS COM IMPLEMENTAÇÃO DE NOVOS LOTEAMENTOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
para obtenção do título de Licenciada em
Geografia na Universidade Estadual de Ponta
Grossa.

Orientador: Prof.º Dr. Gilson Campos Ferreira
da Cruz.

PONTA GROSSA

2025



FOLHA DE APROVAÇÃO ATA DE DEFESA

Aos 12 dias do mês de novembro de 2025, no Auditório do Museu de Ciências Naturais (MCN), reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos(as) professores(as): Dr. Gilson Campos Ferreira da Cruz (Presidente-Orientador), Msc. Mario Cezar Lopes (membro) e Dr. Nicolas Floriani (membro) para a análise do trabalho de Conclusão de Curso sob o Título "A Temperatura de Superfície Terrestre e o Processo de Urbanização de Ponta Grossa- PR entre 1992 e 2022: com destaque para quarta áreas com implementação de novos loteamentos", elaborado por Kamille Czerski Gastler, concluinte do Curso de Licenciatura em Geografia. Aberta a sessão, o autor teve vinte minutos para a apresentação do seu trabalho, sendo, posteriormente, arguido pelos integrantes da Banca. Após o procedimento da avaliação, chegou-se aos seguintes resultados:

O trabalho foi considerado APROVADO

Nada mais havendo a tratar, encerrou-se a presente sessão, da qual lavrou-se a presente ata que vai assinada por todos os membros da Banca Examinadora.

1) Presidente:

2) Membro 1:

3) Membro 2:

Ponta Grossa, 12 de Novembro de 2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO ÉTICO

Eu, Kamille Czerski Gastler, RA: 22001102, RG:15.412.601-5, asseguro que o Trabalho de Conclusão de Curso foi por mim elaborado e, portanto, responsabilizo-me pelo texto escrito que apresenta os resultados de minha pesquisa científica.

Atesto que todo e qualquer texto, que não seja de minha autoria, transcrito em sua íntegra ou parafraseado de outros documentos, estejam eles publicados ou não, estão devidamente referenciados conforme reza a boa conduta ética, o respeito aos direitos autorais e à propriedade intelectual.

Tenho conhecimento de que os textos transcritos na íntegra de outras fontes devem apontar a autoria, o ano da obra, a página de onde foi extraído e ainda apresentar a marcação de tal transcrição, conforme as regras da ABNT. No caso de paráfrase, o trecho deve vir com a referência de autoria e ano da obra utilizada.

Além disso, declaro ter sido informado pelos responsáveis do Curso de Licenciatura em Geografia das leis que regulam os direitos autorais e das penalidades a serem aplicadas em caso de infração, conforme constam na Lei 10.695 de julho de 2003.

Sendo assim, declaro que estou ciente de que, caso infrinja as disposições que constam na Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998, serei responsabilizado juridicamente pelos meus atos e terei que arcar com qualquer prejuízo moral e financeiro deles decorrentes.

Kamille C. Gastler

Ponta Grossa, 12 de novembro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Angélica e Márcio, por serem meus maiores incentivadores. A força, o amor e o apoio inestimável de vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Minha eterna gratidão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gilson Cruz, pela confiança depositada em meu potencial. Sou grata pela paciência, pela sabedoria partilhada e pelos valiosos momentos de conversas inspiradoras sobre a vida e a pesquisa.

Aos meus irmãos, Murillo e Katarine, com quem compartilhei histórias, brincadeiras e desafios. O laço que nos une é o meu maior tesouro.

Ao meu companheiro, Cauã, por acreditar em mim mesmo quando duvidei. Sua paciência, compreensão e amor incondicional foram essenciais em todos os aspectos da minha vida.

À amiga Maria Izabel, por ter feito parte de um momento importante da minha caminhada acadêmica. Sua amizade, mesmo que por um tempo, foi especial e deixou lembranças que levarei comigo

Aos amigos Aline, Jeniffer, Matheus, Renê e Ryan, pela convivência, pelos aprendizados e pelas risadas. A amizade de vocês tornou esta jornada mais leve e suportável.

Aos docentes que contribuíram para minha formação, em especial às professoras Karin Hornes e Karina Fioravante, pelas conversas que ultrapassaram os limites da vida acadêmica e enriqueceram meu percurso pessoal e intelectual.

Ao Laboratório de Climatologia e Estudos Ambientais (LABCLIMEAM), pela estrutura e pelo apoio oferecidos durante os anos de iniciação científica.

Ao NAPI Emergências Climáticas pela oportunidade de participação no projeto de iniciação científica, que contribuiu de forma essencial para o desenvolvimento deste trabalho e para minha formação acadêmica.

À Fundação Araucária pela concessão da bolsa de iniciação científica, cujo apoio foi fundamental para a realização desta pesquisa.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), por ser a instituição que me abriu as portas para o conhecimento e proporcionou o ambiente para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

“Entre o concreto e o calor, a cidade aprende a respirar”
(Gastler, 2025)

RESUMO

GASTLER, K. C. **A temperatura de superfície terrestre e o processo de urbanização de Ponta Grossa-PR entre 1992 e 2022: com destaque para quatro áreas com implementação de novos loteamentos.** 120f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

Este trabalho analisou a relação entre o processo de urbanização e a variação da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) na cidade de Ponta Grossa (PR), com destaque para quatro áreas representativas que passaram por intensa transformação urbana entre os anos de 1992 e 2022. O objetivo principal consistiu em avaliar as alterações térmicas associadas ao crescimento urbano, por meio do uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas a imagens dos satélites Landsat 5 (sensor TM) e Landsat 8 (sensor OLI/TIRS). As imagens foram processadas no software QGIS, possibilitando a geração de mapas de composição colorida (RGB), mapas de TST e gráficos de perfis térmicos para as estações de verão e inverno. Os resultados demonstraram um aumento expressivo da temperatura de superfície em todas as áreas analisadas, com elevação média de 12°C nas três últimas décadas. A substituição da cobertura vegetal natural e áreas de cultivo por edificações, pavimentação e loteamentos residenciais foi identificada como o principal fator de intensificação do aquecimento superficial. As áreas dos bairros Contorno e Cará-Cará apresentaram os maiores valores de TST, refletindo a forte expansão imobiliária e o predomínio de superfícies impermeáveis. Já os bairros Neves e Boa Vista, embora apresentem urbanização mais recente, também mostraram aumento significativo da temperatura, evidenciando a formação de microclimas aquecidos. Conclui-se que o processo de urbanização de Ponta Grossa modificou de forma substancial o comportamento térmico da superfície, reforçando a importância de integrar estudos de climatologia urbana ao planejamento territorial. Recomenda-se a ampliação de áreas verdes, o uso de materiais menos absorventes de calor e a incorporação de variáveis meteorológicas locais em pesquisas futuras.

Palavras-chave: Clima urbano. Urbanização. Temperatura de superfície terrestre - TST.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil clássico das ilhas de calor urbano representando os termos “peak”, “plateau” e “cliff”	21
Figura 2 – Representação esquemática das camadas da atmosfera urbana (urban boundary layer e urban canopy)	22
Figura 3 – Localização da área urbana de Ponta Grossa	43
Figura 4 – Ocupação do solo na área urbana em 1960	47
Figura 5 – Ocupação do solo na área urbana em 1980	48
Figura 6 – Evolução urbana de Ponta Grossa em 2000, 2005, 2010 e 2016	49
Figura 7 – Ocupação do solo na área urbana em 2018	50
Figura 8 – Mapa de localização das áreas de estudo	52
Figura 9 – Fluxograma das operações realizadas para a extração da TST	58
Figura 10 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 1992	63
Figura 11 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 1992	64
Figura 12 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 1992	65
Figura 13 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 1992	66
Figura 14 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 2022	68
Figura 15 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 2022	69
Figura 16 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 2022	70
Figura 17 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 2022	71
Figura 18 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 1992	75
Figura 19 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 1992	76
Figura 20 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 1992	77
Figura 21 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 1992	78
Figura 22 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Evolução do uso e ocupação do solo entre 2004, 2006 e 2007	79
Figura 23 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 2022	80
Figura 24 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 2022	81
Figura 25 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 2022	82
Figura 26 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 2022	83

Figura 27 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 1992	87
Figura 28 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 1992	88
Figura 29 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 1992	89
Figura 30 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 1992	90
Figura 31 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 2022	92
Figura 32 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 2022	93
Figura 33 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 2022	94
Figura 34 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 2022	95
Figura 35 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 4 – Bairro Contorno – Verão de 1992	98
Figura 36 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 4 – bairro Contorno – Verão de 1992	99
Figura 37 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 4 – Bairro Contorno – Inverno de 1992	100
Figura 38 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 4 – bairro Contorno – Inverno de 1992	101
Figura 39 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 4 – Bairro Contorno – Verão de 2022	103
Figura 40 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 4 – bairro Contorno – Verão de 2022	104
Figura 41 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 4 – Bairro Contorno – Inverno de 2022	105
Figura 42 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 4 – Bairro Contorno – Inverno de 2022	106

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – População urbana e rural no Brasil entre 1940 e 2022	26
Gráfico 2 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão e Inverno de 1992.....	67
Gráfico 3 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão e Inverno de 2022.....	72
Gráfico 4 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 1992 e 2022	73
Gráfico 5 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 1992 e 2022	73
Gráfico 6 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão e Inverno de 1992.....	79
Gráfico 7 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão e Inverno de 2022.....	84
Gráfico 8 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 1992 e 2022	85
Gráfico 9 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 1992 e 2022	85
Gráfico 10 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 3 – Bairro Neves – Verão e Inverno de 1992	91
Gráfico 11 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Neves – Verão e Inverno de 2022	96
Gráfico 12 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 1992 e 2022	96
Gráfico 13 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 1992 e 2022	97
Gráfico 14 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 4 – Bairro Contorno – Verão e Inverno de 1992.....	102
Gráfico 15 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 4 – Bairro Contorno – Verão e Inverno de 2022.....	107
Gráfico 16 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 4 – Bairro Contorno – Inverno de 1992 e 2022	107
Gráfico 17 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 4 – Bairro Contorno – Verão de 1992 e 2022	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Crescimento da população urbana de Ponta Grossa de 1940 a 1970.....	46
Tabela 2 – Crescimento da população urbana de Ponta Grossa de 1980 a 2022.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características do satélite Landsat 5 e suas bandas.....	33
Quadro 2 – Características do satélite Landsat 8 e suas bandas.....	35
Quadro 3 – Informações referentes aos loteamentos.....	53
Quadro 4 – Imagens Landsat utilizadas na análise da Temperatura de Superfície Terrestre (TST)	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CGIS	Canadian Geographic Information System
DN	Dados do pixel
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ERTS-1	Earth Resources Technology Satellite
GIS	Geographic Information Syste
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LST	Land Surface Temperature
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near-InfraRed
OLI	Operational Land Imager
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
PR	Paraná
Pv	Proporção de Vegetação
RADAM	Projeto de Radar na Amazônia
RGB	Red, Gren, Blue
S.C.U	Sistema Clima Urbano
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
Tb	Temperatura de Brilho
TIRS	Thermal InfraRed Sensor
TOA	Topo da Atmosfera
TST	Temperatura de Superfície Terrestre
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USGS	United States Geological Survey

LISTA DE SÍMBOLOS

Km^2	Quilômetro quadrado
$^{\circ}\text{C}$	Graus celsius
ε	Emissividade de superfície
λ	Comprimento de Onda
ρ	Reflectância
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
μm	Micrômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	CLIMA E CLIMATOLOGIA	18
2.2	CLIMA URBANO	19
2.3	A URBANIZAÇÃO	24
2.4	GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À CLIMATOLOGIA	27
2.4.1	Uso de Imagens Landsat	33
2.4.1.1	Composição Colorida RGB	36
2.5	TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (TST)	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO E ÁREAS DE ESTUDO	42
3.1.1	Aspectos Físicos-Naturais	44
3.1.2	Urbanização de Ponta Grossa	45
3.1.3	Áreas de Estudo	52
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	54
3.2.1	Seleção e Aquisição das Imagens	54
3.2.2	Processamento das Imagens de Satélite	55
3.2.2.1	Cálculos para Extração da TST	58
3.2.2.1.1	<i>Temperatura de brilho (T_b)</i>	58
3.2.2.1.2	<i>Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)</i>	59
3.2.2.1.3	<i>Proporção de vegetação (P_v)</i>	59
3.2.2.1.4	<i>Emissividade de superfície</i>	60
3.2.2.1.5	<i>Temperatura de superfície terrestre (TST)</i>	60
3.2.2.2	Composição Colorida RGB e Transectos	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	ÁREA 1 – BAIRRO BOA VISTA	62
4.2	ÁREA 2 – BAIRRO CARÁ-CARÁ	74
4.3	ÁREA 3 – BAIRRO NEVES	86
4.4	ÁREA 4 – BAIRRO CONTORNO	97
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

As cidades representam ambientes singulares, integralmente construídos pela ação humana, que se distinguem marcadamente das paisagens naturais. Essa distinção reside nas modificações significativas impostas ao meio físico, como a substituição da cobertura vegetal por uma complexa rede de edificações, indústrias, áreas de lazer, superfícies pavimentadas e o constante fluxo de pessoas e veículos. Tais características urbanas promovem uma reconfiguração do padrão dos elementos climáticos em escala local.

O processo de urbanização, ao transformar intensamente o espaço geográfico, desencadeia alterações profundas no balanço de energia e na dinâmica atmosférica das cidades. O aumento das superfícies impermeáveis, a verticalização e a substituição das áreas verdes por construções favorecem o acúmulo de calor e a modificação do comportamento térmico da superfície. Nesse contexto, o estudo do clima urbano torna-se essencial para compreender os impactos da expansão urbana sobre as condições ambientais e a qualidade de vida da população (MONTEIRO, 1976; LOMBARDO, 1985).

A Temperatura de Superfície Terrestre (TST) constitui um dos principais indicadores do comportamento térmico das cidades e tem sido amplamente utilizada em estudos de clima urbano. Essa variável expressa a energia térmica emitida pelas superfícies, refletindo diretamente o tipo de uso e ocupação do solo. A TST permite identificar contrastes térmicos entre áreas vegetadas e impermeáveis, possibilitando a análise da influência da urbanização na distribuição espacial das temperaturas e no aquecimento superficial (VOOGT; OKE, 2003; WENG, 2009).

O uso do geoprocessamento e das técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) representa um avanço significativo nas pesquisas climatológicas, pois permite a obtenção, tratamento e análise de dados em diferentes escalas espaciais e temporais. As imagens de satélite, como as obtidas pelos sensores a bordo dos satélites *Landsat* 5 (TM) e 8 (OLI/TIRS), possibilitam estimar a TST e observar as mudanças ocorridas no espaço urbano ao longo do tempo. Essas ferramentas tecnológicas tornam-se fundamentais para a compreensão da relação entre o crescimento urbano e a dinâmica térmica das cidades (JENSEN, 2009).

A cidade de Ponta Grossa (PR) apresenta um cenário representativo dos efeitos da expansão urbana sobre o ambiente local. Nas últimas décadas, o município

passou por um processo acelerado de crescimento e adensamento, especialmente nas porções periféricas, o que modificou expressivamente a paisagem e o comportamento térmico da superfície. Assim, analisar a evolução da TST e a sua relação com o processo de urbanização torna-se relevante para compreender as transformações climáticas locais a fim de minimizar impactos causados e subsidiar o planejamento urbano.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar as variações da temperatura de superfície antes e após o processo de urbanização em quatro áreas dentro da área urbana de Ponta Grossa (PR). E para isso buscou-se (i) analisar o processo de urbanização e sua relação com a temperatura de superfície; (ii) extrair a TST das imagens *Landsat* 5 e 8 para o período de 1992 e 2022; (iii) produzir mapas de TST e de composição colorida (*RGB*) para as áreas de estudo; e (iv) gerar gráficos de perfis térmicos que representem a variação da temperatura superficial para o período estudado.

Após esta introdução, o trabalho apresenta o referencial teórico, estruturado em seções que abordam o Clima e a Climatologia, o Clima Urbano, a Urbanização, o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto e a Temperatura de Superfície Terrestre (TST). Em seguida, são detalhados a metodologia utilizada, os resultados obtidos e sua discussão, culminando nas considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CLIMA E CLIMATOLOGIA

O clima pode ser entendido como as “[...] características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período de tempo [...]” (AYOADE, 1996, p. 2), definido, em geral, a partir de uma série de 30 anos de registros meteorológicos, conforme estabelece a Organização Meteorológica Mundial (OMM). Para Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a dinâmica climática é um sistema complexo, no qual:

[...] Os elementos constitutivos do clima são três: a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica, que interagem na formação dos diferentes climas da Terra. Todavia, esses elementos, em suas diferentes manifestações, variam espacial e temporalmente pela influência dos fatores geográficos do clima, que são: a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação e as atividades humanas. A circulação e a dinâmica atmosférica superpõem-se aos elementos e fatores climáticos e imprimem ao ar uma permanente movimentação (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 15-16).

Nesse contexto, a Climatologia, um dos ramos da Geografia Física, dedica-se “[...] ao estudo da espacialização dos elementos e fenômenos atmosféricos e de sua evolução [...]” (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 14), considerando a forma como esses processos se relacionam com a sociedade e a natureza no espaço geográfico.

Historicamente, o desenvolvimento da Climatologia foi marcado por intensas discussões conceituais. As primeiras formulações, associadas a estudiosos como Julius Hann (século XIX), baseavam-se em parâmetros estáticos médios para definir o clima. Em contrapartida, geógrafos como Max Sorre propuseram uma revisão conceitual, criticando a ênfase exclusiva nos valores médios e defendendo que o clima deveria ser compreendido como a “[...] série dos estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual [...]” (SORRE, 1943 *apud* SANT’ANNA NETO, 2008, p. 54).

No Brasil, o campo se consolidou de forma gradual, inicialmente por meio da Climatologia descritiva, com trabalhos pioneiros de Henrique Morize (1889), Frederico Draenert (1896) e Delgado de Carvalho (1917), publicadas entre o final do século XIX e início do século XX. Essa fase evoluiu para a sistematização mais profunda a partir da década de 1970, quando a Climatologia Geográfica brasileira, impulsionada pela

perspectiva da Geografia do Clima, buscou integrar os fenômenos atmosféricos à organização do espaço geográfico e às intervenções humanas (SANT'ANNA NETO, 2001).

Dada a sua complexidade, Ayoade (1996) destaca que a Climatologia se subdivide em diversas áreas de estudo, como a Climatologia Regional, a Climatologia Aplicada e, em especial, a Climatologia Urbana, voltada à análise da influência da ação humana na atmosfera. A compreensão do clima, em sua dimensão espacial, exige a definição das suas escalas de abrangência.

Segundo Ayoade (1996, p. 4), a Macroclimatologia está “[...] relacionada com os aspectos dos climas de amplas áreas da Terra e com os movimentos atmosféricos em larga escala que afetam o clima”. A Mesoclimatologia, por sua vez, preocupa-se com “[...] o estudo do clima em áreas relativamente pequenas, entre 10 e 100 quilômetros de largura (por exemplo, o estudo do clima urbano e dos sistemas climáticos locais severos tais como os tornados e os temporais)”. Por fim, a Microclimatologia se dedica ao “[...] estudo do clima próximo à superfície ou de áreas muito pequenas, com menos de 100 metros de extensão (AYOADE, 1996, p. 4).

Essa análise em diferentes escalas é essencial, pois o estudo da intervenção humana no sistema atmosférico permite identificar e mensurar as alterações climáticas, dando origem ao campo de investigação voltado ao clima das cidades. Nesse sentido, o crescimento urbano e a intensificação das atividades humanas passam a desempenhar um papel central na modificação das condições atmosféricas locais, demandando uma abordagem específica capaz de compreender as dinâmicas climáticas associadas ao ambiente urbano.

2.2 CLIMA URBANO

A interação entre o meio ambiente e o espaço construído pelas atividades humanas resulta na formação de um sistema único, que integra as características climáticas de um espaço terrestre e sua urbanização. Monteiro (1990) qualifica esse sistema como um complexo que abarca um fato natural e a cidade como fato social, modificado ou artificial. O autor o descreve como sendo “[...] complexo, aberto, adaptativo e dinâmico que, ao receber energia do ambiente maior no qual se insere, transforma-o significativamente [...]” (MONTEIRO, 1990, p. 11).

Neste sentido, Lombardo (1990, p. 162) aponta que “[...] o processo de crescimento urbano impõe um caráter peculiar à baixa troposfera [...]”, criando condições atmosféricas distintas entre a cidade e suas áreas vizinhas. Dessa forma, a cidade passa a induzir a formação de um clima próprio, denominado Clima Urbano. Esse clima é gerado principalmente pela intervenção de elementos urbanos como “[...] capeamento do solo, material empregado nas construções, geometria e rugosidade da cidade, emissão de aerossóis e produção artificial de calor [...]” (DANNI-OLIVEIRA, 1995, p. 14).

Para Cruz (2009, p. 28), o clima urbano é “[...] o clima que se observa nas áreas urbanas, que envolve as condições naturais pré-existentes e também transformadas pela ação do homem [...]”. Nesta perspectiva, Oke (1987) complementa que o clima urbano é o resultado das modificações causadas pelo processo de urbanização da superfície terrestre e da interferência dessa urbanização nas características da atmosfera de um determinado local.

Monteiro (1976) destaca a importância dos estudos sobre o clima das cidades ao afirmar que:

A cidade gera um clima próprio (clima urbano), resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local. Seus efeitos mais diretos são percebidos pela população através de manifestações ligadas ao conforto térmico, à qualidade do ar, aos impactos pluviais e a outras manifestações capazes de desorganizar a vida da cidade e deteriorar a qualidade de vida de seus habitantes (MONTEIRO, 1976, p. 134).

Segundo Lombardo (1985) a percepção sobre as particularidades do clima das cidades é um fato notado historicamente, com registros que remontam ao período do Império Romano. Contudo, a partir do século XVII, surgiram as primeiras análises e preocupações com a atmosfera urbana na idade moderna e após a Revolução industrial. Os estudos pioneiros nesta temática foram elaborados por Evelyn (1661) e Howard (1833) pautados na cidade de Londres (LOMBARDO, 1990).

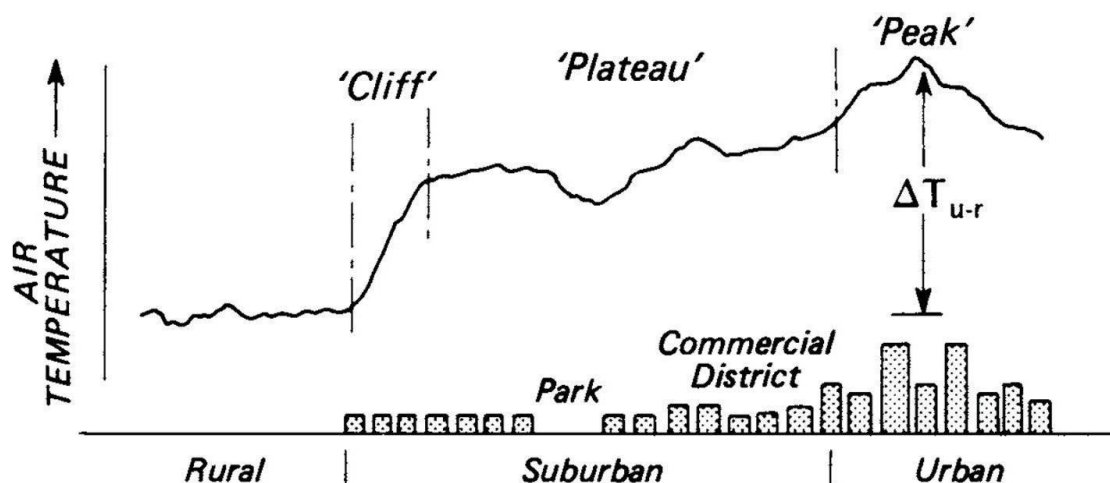
No entanto, o século XX marcou uma nova era com trabalhos considerados de grande importância para a climatologia urbana mundial. Entre eles, destaca-se a obra *“The Climate of London”* de Chandler (1965), considerada um clássico. Nela, o autor argumenta que a cidade modifica o clima através das mudanças na superfície, produzindo assim o aumento da temperatura e da precipitação, além de modificações na ventilação e umidade (LOMBARDO, 1990). Da mesma forma, outros autores, como

Landsberg (1956, 1981), Fukui (1964) e Endlicher (1981), buscaram evidenciar os contrastes climáticos entre as cidades e seus arredores (LOMBARDO, 1990).

Uma das manifestações mais estudadas no clima urbano é a ilha de calor urbano, fenômeno detalhado por Oke (1987) em sua obra *“Boundary Layer Climates”*. O autor propôs o que se tornou conhecido como “perfil clássico das ilhas de calor” (Figura 1). Nele, Oke descreveu o perfil térmico dos grandes centros urbanos, demonstrando que as áreas de maior atividade humana, tipicamente o centro, registram temperaturas mais elevadas em comparação com as zonas residenciais e periféricas.

No detalhe desse perfil, o “pico” (*peak*) identifica o centro da cidade como o ponto de maior temperatura. A partir desse ponto, a temperatura decai gradualmente em direção às áreas mais afastadas, alcançando a zona de estabilidade térmica, que o autor define como *“plateau”*. O limite entre o ambiente urbano e o rural é marcado por uma queda abrupta da temperatura, um fenômeno conceituado como “penhasco” (*cliff*) (Figura 1).

Figura 1 – Perfil clássico das ilhas de calor urbano representando os termos “peak”, “plateau” e “cliff”



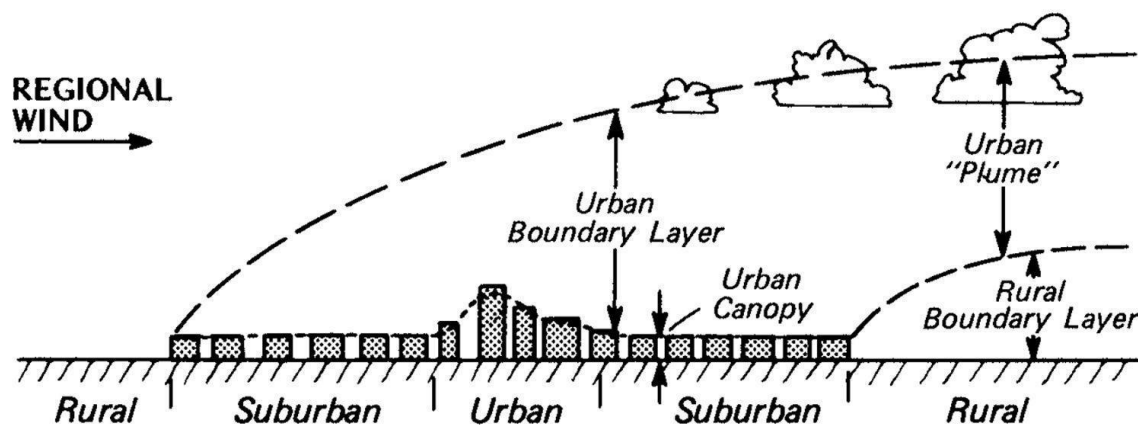
Fonte: Oke, 1987.

Ademais, Oke (1987) sistematizou os fatores que causam esse fenômeno, organizando a atmosfera urbana em duas camadas, denominadas *“urban boundary layer”* (camada superior) e *“urban canopy”* (camada do dossel urbano) (Figura 3). Na camada superior, os principais fatores incluem: calor gerado por atividades humanas;

o calor que ascende da camada do dossel; o calor excedente transferido por convecção; e o fluxo de radiação de onda curta que interage com a poluição.

Por sua vez, na camada do dossel, temos: o calor artificial proveniente das construções; a alta absorção de radiação da onda curta pelos materiais de construção; a redução da perda de radiação de ondas longas; o armazenamento de calor pelos materiais de construção civil; excesso de calor sensível pela diminuição do fluxo de calor latente; e a convergência do calor sensível pela redução da velocidade do vento.

Figura 2 – Representação esquemática das camadas da atmosfera urbana (urban boundary layer e urban canopy)



Fonte: Oke, 1987.

Diante da relevância dos estudos internacionais, a pesquisa sobre o clima das cidades no Brasil passou a ser desenvolvida em resposta à crescente necessidade de compreendê-lo. Para Mendonça (2003), a principal motivação para esses estudos foi a preocupação com os efeitos da urbanização na qualidade do ar das cidades.

O processo de investigação do clima urbano no país se intensificou a partir da década de sessenta, coincidindo com o momento em que a população urbana superou a rural. Conforme Mendonça (2003), a pesquisa se expandiu e se aprofundou ao longo das décadas seguintes:

Um considerável número de cidades de porte pequeno, médio e grande no Brasil foi alvo de investigação de seus ambientes atmosféricos urbanos a partir da década de 1960 (Monteiro, 1984), tendo se intensificado e se distribuído por quase todo o território nacional na década de 1990. Variados recursos técnicos têm caracterizado a prospecção da atmosfera das cidades no Brasil, país que conta com importante base teórico-metodológica para o estudo do clima urbano a partir da década de 1970, elaborada na perspectiva de contribuir para o planejamento da cidade (MENDONÇA, 2003, p. 176).

A partir da década de 1970, a Climatologia Urbana ganhou destaque significativo no Brasil, com contribuições de diversos autores, como aponta Cruz (2009). Entre os principais trabalhos, destacam-se os de Monteiro (1976), Lombardo (1985), Danni-Oliveira (1987), Mendonça F. (1995), Mendonça M. (2003) e Brandão (2003). Isso evidencia a crescente importância que o tema vem adquirindo ao longo dos anos (CRUZ, 2009).

Entre esses autores, o professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro se destacou com sua tese de Livre-docência, de 1976, intitulada “Teoria e Clima Urbano”. Considerada um marco para a climatologia urbana no Brasil, a obra propõe uma abordagem teórico-metodológica denominada Sistema Clima Urbano (S.C.U). Monteiro (1976), o descreve como um sistema singular, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e possível de auto-regulação que engloba um clima (fato natural) e a cidade (fato social).

O Sistema Clima Urbano foi fundamentado na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (1950) e no conceito dinâmico proposto por Sorre (1934; 1951) e Pedelaborde (1958; 1959) (GOMES, 2017). Sob essa perspectiva sistêmica, o estudo do S.C.U. foi proposto por Monteiro (1976) por meio da adoção de três subsistemas:

- a) Conforto térmico - Englobando as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade nos referenciais básicos a esta noção. É um filtro perceptivo bastante significativo, pois afeta a todos permanentemente. Constitui, seja na climatologia médica, seja na tecnologia habitacional, assunto de investigação de importância crescente.
- b) Qualidade do ar - A poluição é um dos males do século, e talvez aquele que, por seus efeitos mais dramáticos, atraia mais a atenção. Associada às outras formas de poluição (água, solo etc.), a do ar é uma das mais decisivas na qualidade ambiente urbana.
- c) Meteoros do impacto - Aqui estão agrupadas todas aquelas formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiros), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestade), que assumindo, eventualmente, manifestações de intensidade são capazes de causar impacto na vida da cidade, perturbando-a ou desorganizando-lhe a circulação e os serviços (MONTEIRO, 1976, p. 124-125).

A consolidação da abordagem desenvolvida por Monteiro (1976) foi fundamental para a evolução do campo de estudo do clima urbano no país, impulsionando o desenvolvimento de diversas metodologias para estudos práticos em cidades brasileiras.

Lombardo (1985) como já mencionada anteriormente, elaborou o estudo pioneiro sobre ilhas de calor, intitulado “Ilhas de Calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo”. Neste trabalho, a autora identificou que o clima da cidade se modifica

devido à intensificação do uso e ocupação da terra, resultando em desequilíbrios térmicos e na deterioração da qualidade do ar. O estudo verificou uma diferença de até 12°C na temperatura entre a área urbana e rural.

Seguindo essa linha de pesquisa, Cruz (2009) realizou um estudo sobre o clima urbano de Ponta Grossa (PR), concluindo que o clima da cidade é condicionado por fatores, tanto antrópicos (presença de construções, circulação de veículos, ausência ou presença de vegetação arbórea) quanto naturais (altitude, exposição de vertentes e sistemas atmosféricos atuantes). Além disso, a pesquisa identificou a ocorrência de uma ilha de calor na área central da cidade, verificando seu deslocamento para as regiões periféricas conforme a direção do vento.

Em suma, a crescente relevância da climatologia urbana demonstra que a investigação das consequências da urbanização se tornou um pilar para discussões sobre o planejamento urbano, a qualidade ambiental e o conforto térmico, destacando a importância da temática para o futuro das cidades.

2.3 A URBANIZAÇÃO

O advento da Revolução Industrial na Europa, a partir do século XVIII, impulsionou o processo de urbanização e o crescimento das cidades em escala mundial. A busca por trabalho e melhores condições de vida gerou um intenso fluxo migratório do campo para as áreas urbanas. De acordo com Santos (1988), a população urbana representava apenas 1,7% do total no início do século XIX.

No entanto, esse movimento populacional ocorreu de forma acelerada e sem o planejamento adequado, resultando em um cenário de superlotação e instabilidade socioambiental. Esse contexto de rápido crescimento, sem a devida infraestrutura, é reforçado por Brandão (2003), que aponta a falta de melhorias correspondentes nas condições de higiene, saúde, habitação e saneamento básico.

“[...] Esse processo de urbanização mundial leva a uma sobrecarga da natureza, alterando toda a ecologia das cidades, em especial daqueles onde o crescimento foi mais rápido e sem planejamento adequado [...]” (LOMBARDO, 1985, p. 21). Essa alteração da ecologia urbana é visível na modificação da paisagem, por meio do seguinte processo:

O processo de urbanização alcançou proporções significativas de expressão espacial a partir dos meados do século XIX. Com a expansão das cidades, modifica-se substancialmente a paisagem natural. A grande concentração de áreas construídas, parques industriais, adensamento populacional, pavimentação asfáltica, associados à concentração de poluentes, criam condições para alterar o comportamento da baixa troposfera (camada limite), em ambientes urbanos (LOMBARDO, 1985, p. 23).

O crescimento urbano e populacional atingiu um ritmo sem precedentes no século XX, que se consolidou como o século da urbanização. A urbanização mundial, que no início da Revolução Industrial era inferior a 2%, passou por uma aceleração contínua.

Esse rápido crescimento pode ser observado pelos dados da Organização das Nações Unidas (ONU, 2018), onde evidenciam que a porcentagem da população urbana saltou para 29% em 1950, atingiu 40% em 1980 e superou os 50% no início do século XXI. Atualmente, essa taxa já ultrapassa os 55%, e a projeção é que até 2050 chegue a 68% (ONU-Habitat, 2022).

O reflexo desse processo global de urbanização foi sentido de forma particularmente intensa e acelerada no Brasil a partir das primeiras décadas do século XX. Segundo Santos (1988), a população brasileira mais do que duplicou em trinta anos, entre 1890 e 1920.

Esse intenso processo de transformação social e territorial foi impulsionado pela industrialização e migração campo-cidade. Nessa perspectiva, Clenes, Cardoso e Dourado (2010) salientam que:

Em 1930, acontece a organização da indústria brasileira que ativa o processo de urbanização e crescimento demográfico. A partir de 1940, houve um intenso crescimento urbano, surgiram inúmeras cidades e serviços para atender essa população, ainda que não tenha sido suficiente para suprir essas necessidades do povo, assim o território brasileiro foi sendo construído (CLENES; CARDOSO; DOURADO, 2010, p. 574-575).

Até 1950, o Brasil ainda era um país majoritariamente rural, com 67,4% da população total, enquanto a população urbana representava 32,6% (Merrick, 1972). Nas décadas seguintes, essa dinâmica se inverteu, e o país se tornou predominantemente urbano. A população urbana ultrapassou a rural de forma definitiva em 1970, quando atingiu 56,09% do total, conforme os dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1970), analisados por Merrick (1972).

Após a inversão demográfica de 1970, o processo de concentração populacional nas áreas urbanas continuou de forma intensa. Os dados dos censos

subsequentes do IBGE demonstram uma urbanização crescente, consolidando o perfil urbano da sociedade brasileira.

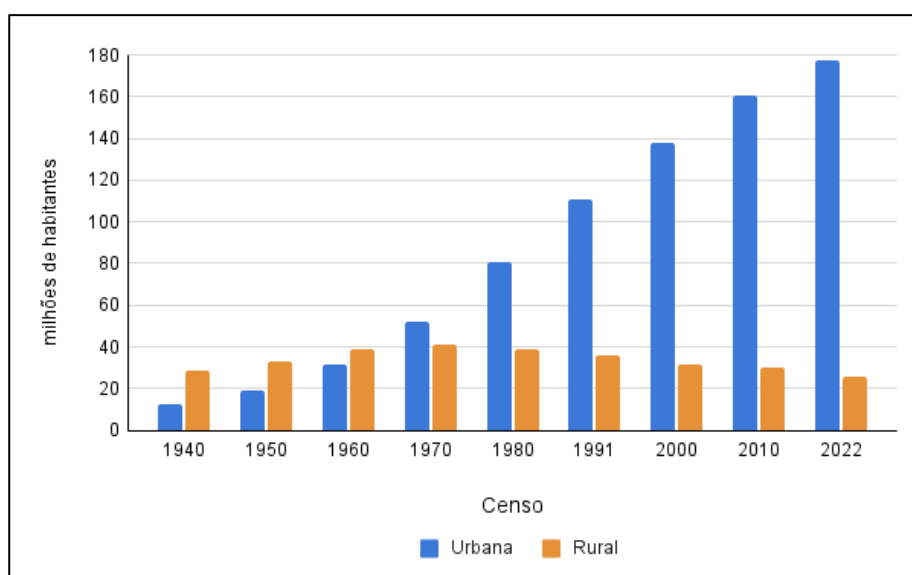
Em 1980, a população urbana já representava 67,7% do total, e esse percentual saltou para 75,5% em 1991. Neste sentido, Santos (1988) destaca que a urbanização brasileira se destacou pelo ritmo acelerado em comparação com outros países:

A população urbana dos países subdesenvolvidos (tomadas apenas as cidades com mais de vinte mil habitantes) é multiplicada por 2,5 entre 1920 e 1980, enquanto nos países subdesenvolvidos o multiplicador se aproxima de 6. O retardo da urbanização nos países do "Sul" é seguido por uma verdadeira revolução urbana. No caso do Brasil, a população urbana é praticamente multiplicada por cinco nos últimos trinta e cinco anos e por mais de três nos últimos vinte e cinco anos (SANTOS, 1988, p. 16).

A virada do século XX marcou a urbanização de mais de 80% da população, atingindo 81,9% em 2000. Em 2010, o percentual chegou a 84,4%, e o Censo Demográfico de 2022 confirmou a tendência, mostrando que 87,4% dos brasileiros vivem em áreas urbanas (IBGE, 2025).

Essa evolução pode ser observada no gráfico a seguir que ilustra a trajetória da população urbana e rural do Brasil.

Gráfico 1 – População urbana e rural no Brasil entre 1940 e 2022



Fonte: A autora adaptado de IBGE (2022).

As cidades se constituíram nos principais centros de atividades humanas onde as intensas relações políticas, econômicas e comerciais proporcionaram o

desenvolvimento de extensos aglomerados urbanos e os fluxos de pessoas, bens, capitais e mercadorias (SAYDELLES; SARTORI, 2004).

Sob essa perspectiva, Mendonça (1995) afirma que, ao construir cidades, os homens incorporam enorme quantidade de novos materiais, equipamentos no ambiente natural originando um novo ambiente, e que a intensidade da alteração será razão direta da qualidade e quantidade de elementos nele introduzidos.

Esse processo de intensa urbanização e concentração populacional causou uma profunda modificação no meio natural, inaugurando uma nova dinâmica territorial. Almeida Jr. (2005) ressalta que:

Nos grandes centros urbanos, há uma tendência a se achar que são centros que proporcionam aos seus moradores uma condição de vida sadia, pois são considerados símbolos de desenvolvimento e progresso. Contudo, a maioria não oferece as mínimas condições ambientais a seus habitantes, isso se explica devido às contradições na transformação do ambiente natural e do construído (ALMEIDA JR., 2005, p. 3).

Sendo assim, a alteração da paisagem natural pela construção de ambientes urbanos, que inclui a impermeabilização do solo e a pavimentação dessas áreas por meio de ruas e edificações, acarreta dificuldades no escoamento superficial da água. A substituição da cobertura vegetal e as modificações topográficas, juntamente com as emissões de indústrias e veículos que contribuem para o aumento da poluição atmosférica, modificam os elementos e características do clima em escala local (COSTA, 2009).

2.4 GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À CLIMATOLOGIA

O avanço de tecnologias digitais tem possibilitado novas formas de compreender a dinâmica do espaço geográfico. Entre os recursos disponíveis, o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto (SR) se destacam por fornecerem meios eficientes de coleta, tratamento e análises de dados espaciais. Tais ferramentas vêm sendo amplamente aplicadas em estudos envolvendo questões climáticas e ambientais, possibilitando a interpretação de fenômenos complexos a partir da interação de diferentes fontes de dados.

Neste sentido, Rosa (2013, p. 59) define o geoprocessamento como “[...] o conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais,

assim como ao desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação [...]”. Câmara e Davis (2001, p. 2) discorrem que o “[...] geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas [...]”, enquanto Fitz (2008, p. 24) complementa que “[...] possibilita a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados [...]”.

O domínio dessa tecnologia tem se consolidado como uma ferramenta de suporte para gerenciamento e monitoramento de sistemas geográficos. A esse respeito, Rosa (2013) ressalta que:

O domínio da tecnologia de geoprocessamento traz novas oportunidades profissionais em departamentos governamentais, administrações municipais, empresas de utilidade pública, empresas de publicidade, empresas que trabalham com vendas a varejo e distribuição, empresas de transporte, dentre outras (ROSA, 2013, p. 62).

Considerando o desenvolvimento histórico dessa tecnologia na segunda metade do século XX, com o avanço da tecnologia da informática, “[...] tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do geoprocessamento [...]” (CÂMARA; DAVIS, 2001, p. 1), o que possibilitou o surgimento de ferramentas específicas para análise e gestão de informações espaciais.

Nesse contexto, Câmara e Davis (2001, p. 1) destacam que “[...] as ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados [...]”.

O primeiro Sistema de Informação Geográfica (SIG) surgiu na década de 1960, no Canadá, denominado “*Canadian Geographic Information System*” (ROSA, 2013), marcando o início de uma nova era no tratamento de informações espaciais. Durante a década de 1970, o desenvolvimento de novos recursos de hardware mais acessíveis tornou viável a criação de sistemas comerciais de geoprocessamento.

No decorrer da década de 1980 ocorreu um período de crescimento acelerado dessa tecnologia, consolidando os SIGs como ferramentas essenciais para análise e gestão de dados geográficos, situação que perdura até os dias atuais. No Brasil, a introdução do geoprocessamento teve início nos anos 1980, por meio do professor

Jorge Xavier da Silva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (CÂMARA; DAVIS, 2001, p. 2-3).

No contexto dos sistemas de informação geográfica, a classificação de atributos espaciais é fundamental para análise e interpretação de dados. Câmara e Monteiro (2001) discutem sobre os sistemas de medidas e de espaço-temporal no geoprocessamento, salientando que:

[...] Para ser representada em ambiente computacional, temos de associar a cada tipo de informação geográfica uma escala de medida e de referência, que será utilizada pelo GIS para caracterizá-lo. A visão mais aplicada em geoprocessamento utiliza uma escala de mensuração que permite associar grandezas numéricas a cada objeto a ser representado computacional (CÂMARA; MONTEIRO, 2001, p. 4).

O manejo e análise de dados espaciais em diferentes escalas requer o suporte de tecnologias que capturem informações precisas sobre a superfície terrestre. Nesse contexto, o Sensoriamento Remoto surge como ferramenta essencial, permitindo a aquisição de dados a partir de imagens de satélites até fotografias, sem necessidade de contato direto com o terreno.

Rosa (2005) define o sensoriamento remoto, de maneira ampla, como sendo:

A forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com ele. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos, geradas por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais como, por exemplo, o Radar (ROSA, 2005, p. 83).

Rosa (2005) acrescenta que o sensoriamento remoto envolve duas fases: a fase de aquisição de dados e a fase de utilização. Na fase da aquisição, são fornecidas as informações referentes à radiação eletromagnética, aos sistemas sensores, ao comportamento espectral dos alvos e à atmosfera. As informações obtidas da superfície terrestre são captadas por sensores, dispositivos capazes de detectar radiação eletromagnética em faixas específicas, registrá-la e gerar produtos interpretáveis. Cada sensor é composto por um sistema coletor (lentes, espelhos ou antenas) e um sistema de registro, como detectores ou filmes (ROSA, 2005).

A eficácia de um sistema de sensoriamento remoto é determinada pelas características e classificações de seus sensores. Esses sensores podem ser classificados quanto à resolução espacial (imaginadores ou não-imaginadores), à fonte de radiação (ativos ou passivos) e ao tipo de registro (fotográficos ou não-fotográficos). Adicionalmente, eles possuem características próprias, como

resoluções temporal, radiométrica, espectral e espacial, que determinam suas aplicações específicas (ROSA, 2005, p. 83).

A respeito das imagens de satélite — elemento-chave para condução desta pesquisa —, Florenzano (2005) ressalta que:

Elas mostram os ambientes e a sua transformação, destacam os impactos causados por fenômenos naturais como as inundações e a erosão do solo (frequentemente agravados pela intervenção do homem) e antrópicos, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra (FLORENZANO, 2005, p. 24).

Segundo Florenzano (2005, p. 25), “através das imagens de satélite o ambiente mais distante ou de difícil acesso torna-se mais acessível [...]” e que “as imagens obtidas através do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre [...]” (p. 25, o que permite investigar as transformações que ocorrem nos ambientes naturais e antrópicos, especialmente aquelas ligadas a evolução da expansão urbana, às mudanças no uso e ocupação do solo e às alterações no clima das cidades, com destaque para a variação da temperatura de superfície terrestre (FLORENZANO, 2005).

Rosa (2005) também enfatiza a fase da utilização, na qual as informações obtidas são aplicadas em diferentes áreas do conhecimento, consolidando o sensoriamento remoto como uma ferramenta de suporte à análise e interpretação de fenômenos que ocorrem nos ambientes naturais e urbanos. Sob essa perspectiva, Blaschke, Glässer e Lang (2007) afirmam que o potencial do sensoriamento remoto, de maneira geral, pode ser avaliado seguindo alguns critérios, destacando a largura da faixa de possíveis erros de método, o volume temporal e de trabalho, a redução do trabalho de campo e a padronização, opção de intercâmbio de métodos, entre outros.

Historicamente, as primeiras aplicações relevantes das técnicas de sensoriamento remoto ocorreram no planejamento de operações militares durante a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, quando as fotografias aéreas obtidas em média escala e baixa altitude eram os principais recursos disponíveis. Posteriormente, o sensoriamento remoto passou a incluir informações orbitais, obtidas por satélites, e suborbitais, adquiridas por aeronaves (ROSA, 2005).

Em 1972, os Estados Unidos lançaram o primeiro satélite voltado ao sensoriamento remoto, o ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*), voltado a pesquisas agrícolas, geológicas e ao uso e ocupação do solo, o qual possibilitou a

obtenção de dados rápidos, confiáveis e frequentes sobre a superfície terrestre (JACINTHO, 2003). Desde então, diversos outros sistemas de coleta de dados como passivos ou ativos, orbitais ou suborbitais, foram desenvolvidos, ampliando a disponibilidade de informações sobre o planeta.

No Brasil, esse desenvolvimento ganhou impulso na década de 1960, com o Projeto RADAM (Radar na Amazônia), iniciativa do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que objetivava realizar um levantamento integrado da geologia, fitogeografia e pedologia do país (especificamente na Amazônia) (JACINTHO, 2003). Nesse sentido, Rosa (2005), pontua que:

A extensão do território brasileiro, e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliado ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento remoto por satélite (ROSA, 2005, p. 83).

Atualmente inúmeras instituições brasileiras utilizam dessa tecnologia para obter informações sobre a paisagem, desde o mapeamento de recursos naturais até a análise de questões ambientais, ampliando as possibilidades de investigações e aprofundando o conhecimento sobre a dinâmica do território (ROSA, 2005).

No contexto dos estudos urbanos, o Geoprocessamento, SIG e o Sensoriamento remoto tornam-se ferramentas indispensáveis, pois permitem a aplicação de modelos matemáticos que possibilitam analisar áreas extensas mesmo na ausência de uma rede de estações de monitoramento de campo. Quando se trata da área da climatologia geográfica, essas geotecnologias se destacam como recursos promissores (MARTINS; NASCIMENTO, 2021).

No campo do Sensoriamento Remoto, há uma ampla variedade de sensores capazes de identificar diferentes fenômenos, desde a formação de nuvens e a dinâmica de massas de ar até a presença de ilhas de calor em áreas urbanas. Nesse contexto, o uso de imagens de satélites tem ganhado destaque para estudos climáticos, pois permite o acesso remoto a informações da superfície. A série *Landsat*, por exemplo, dispõe de bandas termais que possibilitam a estimativa da temperatura da superfície e o mapeamento do uso do solo (MARTINS; NASCIMENTO, 2021; CRUZ, 2009).

O trabalho de Lombardo (1985) é considerado pioneiro no Brasil, ao utilizar imagens de satélite *Landsat 3* para elaborar mapas de uso do solo com o objetivo de identificar ilhas de calor na cidade de São Paulo. Posteriormente, Amorim, Dubreuil e

Cardoso (2015) aplicaram imagens do *Landsat* 8 na modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), integrando dados de uso da terra, vegetação e relevo. De forma semelhante, Fruteira *et al.* (2018) utilizaram imagens de satélite *Landsat* 5, 7 e 8 para estimar a temperatura de superfície em Ponta Grossa (PR), reforçando a relevância dessa tecnologia para compreender as dinâmicas climáticas em cidades brasileiras de médio porte.

Paralelamente, o Geoprocessamento fornece *softwares* e metodologias que permitem processar imagens de sensoriamento remoto e dados coletados em superfície, viabilizando a elaboração de modelos numéricos capazes de mensurar e estimar diversas variáveis climáticas. Nesse campo, a adoção de SIGs de código aberto, especialmente o QGIS, consolidou-se como uma ferramenta fundamental na aplicação de técnicas voltadas ao estudo da dinâmica térmica em áreas urbanas brasileiras.

Esse uso é evidenciado em pesquisas como a de Dias, Gonçalves e Silva (2023), que aplicaram o QGIS para processar imagens *Landsat* 8 de Cuiabá e Várzea Grande (MT), identificando forte relação entre áreas densamente urbanizadas e maiores valores da temperatura superficial. No mesmo sentido, Azevedo, Soares e Torres (2021) utilizaram o *software* para analisar a relação entre temperatura de superfície e cobertura do solo na região metropolitana de Belém, constatando que áreas de floresta apresentavam temperaturas significativamente mais baixas quando comparadas às áreas urbanas. Em complemento, Trindade, Saldanha e Filho (2017) empregaram dados de infravermelho termal no mesmo SIG para realizar uma análise espaço-temporal da temperatura de superfície e das ilhas de calor urbanas em Santa Maria (RS), demonstrando a intensificação do fenômeno em função da expansão desordenada da cidade.

Portanto, a integração entre sensoriamento remoto e geoprocessamento representa uma etapa fundamental para o estudo de fenômenos urbanos e ambientais. Como ressaltam Câmara e Monteiro (2001), essa integração depende da inserção das imagens aéreas ou de satélite na base de dados do SIG, o que possibilita análises detalhadas e sistemáticas. Nesse sentido, destaca-se a relevância da série de satélites *Landsat*, amplamente utilizada em pesquisas climatológicas devido à sua disponibilidade temporal e espacial, além da presença de bandas específicas que permitem diferentes análises da superfície.

2.4.1 Uso de Imagens Landsat

O programa *Landsat* consiste em uma série de missões de observação da Terra por satélite, gerenciadas em conjunto pela Agência Espacial Norte-Americana - NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*USGS*, do inglês *United States Geological Survey*).

A série teve início na segunda metade da década de 1960, a partir de um projeto desenvolvido pela NASA, dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Em 23 de julho de 1972, foi lançado o satélite denominado *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), que posteriormente, em 1975, passou a ser chamado de *Landsat 1* (EMBRAPA, 2022).

A missão do *Landsat 1*, marcou o início de um dos programas mais importantes de observação sistemática da superfície terrestre. Desde então, sucessivas missões Landsat vêm sendo desenvolvidas e colocadas em órbita, como o *Landsat 2* (1975) e o *Landsat 3* (1978), considerados satélites experimentais. O *Landsat 4* inaugurou a segunda geração do programa, entrando em operação em 1982, equipado com a câmera MSS (*Multispectral*) e o sensor TM (*Thematic Mapper*).

Dois anos depois, em 1º de março de 1984, foi lançado o *Landsat 5*, que permaneceu em funcionamento por 29 anos, até 2013, sendo um dos satélites mais duradouros da série. Equipado com o sensor TM (*Thematic Mapper*), este satélite será utilizado neste estudo, sendo fundamental para a análise. No Quadro 1, apresentam-se as características específicas das bandas espectrais do sensor TM:

Quadro 1 – Características do satélite *Landsat 5* e suas bandas

(continua)

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
	(B1) Azul	0.45 - 0.52 μm				
	(B2) Verde	0.50 - 0.60 μm				
	(B3) Vermelho	0.63 - 0.69 μm				

(conclusão)						
TM	(B4) Infravermelho Próximo	0.76 - 0.90 µm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(B5) Infravermelho Médio	1.55 - 1.75 µm				
	(B6) Infravermelho Termal	10.4 - 12.5 µm	120 m			
	(B7) Infravermelho Médio	2.08 - 2.35 µm	30 m			

Fonte: Adaptado de Engesat LANDSAT 4 E 5. Disponível em: <https://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

De acordo com a Embrapa (2022), a sexta missão da série não obteve êxito em alcançar a órbita terrestre devido a falhas no lançamento. O *Landsat 6* teria introduzido, de forma inovadora, a banda 8 pancromática, com 15 metros de resolução espacial. Em 1999, foi lançado o *Landsat 7*, que ampliou a resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) e forneceu dados completos da Terra até 2003. Desde então, suas imagens continuam sendo adquiridas e enviadas para a Terra, contudo, para o uso adequado, necessitam de correções prévias, bem como análise de acurácia no posicionamento e calibração dos pixels.

A continuidade da série ocorreu com o lançamento do *Landsat 8* (LDCM - *Landsat Data Continuity Mission*), em 11 de fevereiro de 2013, na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA). Equipado com os instrumentos OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI mantém a produção de dados compatível com os gerados pelos sensores TM e ETM + das plataformas anteriores, incorporando ainda duas novas bandas espectrais, sendo uma voltada para estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens do tipo cirrus (EMBRAPA, 2022).

Sobre os sensores OLI e TIRS, o USGS (tradução nossa) acrescenta que:

O OLI mede as porções visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas (VNIR, NIR e SWIR) do espectro. O TIRS mede a temperatura da superfície terrestre em duas bandas térmicas com uma nova tecnologia que aplica a física quântica para detectar calor. As imagens do Landsat 8 têm resoluções espaciais pancromáticas de 15 metros e multiespectrais de 30 metros ao longo de uma faixa de 185 km (115 mi) (Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. Acesso em: 17 ago. 2025).

Este satélite também será utilizado neste estudo, sendo essencial para a análise proposta. No Quadro 2, apresenta-se a resolução temporal, de 16 dias, com passagem na linha do equador ocorre às 10:00 horas (com variação de 15 minutos para mais ou para menos) (USGS, 2013), bem como as especificações detalhadas das bandas espectrais dos sensores OLI e TIRS:

Quadro 2 – Características do satélite *Landsat 8* e suas bandas

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
OLI	(B1) Azul Costeiro	0.43 - 0.45 μm	30 m	16 dias	170 x 183 km	16 bits
	(B2) Azul	0.45 - 0.51 μm				
	(B3) Verde	0.53 - 0.59 μm				
	(B4) Vermelho	0.64 - 0.67 μm				
	(B5) Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88 μm				
	(B6) Infravermelho Médio	1.57 - 1.65 μm				
	(B7) Infravermelho Médio	2.11 - 2.29 μm				
	(B8) Pancromática	0.50 - 0.68 μm	15 m			
	(B9) Cirrus	1.36 - 1.38 μm	30 m			
TIRS	(B10) Infravermelho Termal	10.6 - 11.19 μm	100 m			
	(B11) Infravermelho Termal	11.5 - 12.51 μm	100 m			

Fonte: Adaptado de EngeSat. LANDSAT 8. Disponível em: <https://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

Nota: As bandas B10 e B11 foram reamostras para 30 metros.

O *Landsat 9*, lançado em 2021 e operado em conjunto pela NASA e pelo USGS, representa a missão mais recente da série. Seu objetivo é assegurar a continuidade da aquisição de imagens multiespectrais e térmicas da superfície terrestre, reforçando a importância do programa *Landsat* para proporcionar cobertura global e aquisição de dados consistentes para monitoramento ambiental, uso do solo e análise de mudanças na superfície terrestre.

Neste sentido, destacam-se os satélites *Landsat 5* e *Landsat 8*, escolhidos para o presente trabalho devido às suas séries históricas de observação, que permitem análises temporais consistentes sobre mudanças ambientais e urbanas, e avanços tecnológicos, que aprimoraram a resolução e a qualidade das imagens, possibilitando maior precisão em estudos relacionados à temperatura de superfície e uso e ocupação do solo. A combinação dessas duas séries garante uma base sólida para a análise dos impactos da urbanização sobre a temperatura da superfície terrestre em Ponta Grossa (PR).

2.4.1.1 Composição Colorida *RGB*

O avanço das geotecnologias, especialmente do sensoriamento remoto, transformou a forma de compreender a dinâmica do espaço geográfico. O uso de imagens de satélites e outras ferramentas de processamento digital de imagens tem se tornado fundamental para a análise de fenômenos climáticos e urbanos em diferentes escalas.

Neste sentido, a interpretação visual das imagens é um dos elementos mais importantes do sensoriamento remoto, sendo que, de acordo com Boscolo e Namikawa (2019):

Uma imagem de sensoriamento remoto, por sua natureza digital, é constituída por um arranjo de elementos em forma de grade regular retangular. Cada célula desta grade (um pixel) é indexada por linha e coluna e representa uma área da superfície da Terra possuindo um determinado valor numérico (um número digital). O valor numérico corresponde sempre à média da intensidade da energia eletromagnética refletida, emitida ou retroespalhada pelos diferentes materiais presentes no pixel, e capturada pela célula do sensor localizado no satélite (BOSCOLO; NAMIKAWA, 2019, p. 2).

Neste contexto, Trindade, Oliveira e Imai (1993, p. 471) destacam que “[...] as imagens digitais podem ser visualizadas como composições coloridas aditivas usando três cores primárias: vermelho, verde e azul (*RGB*), cada qual associada a uma banda

espectral [...]”. Essas visualizações em *RGB* são extensivamente utilizadas em processamento digital de sensoriamento remoto para a elaboração de composições coloridas normais, infravermelhas, falsa cor e outras composições arbitrárias.

Miranda *et al.* (2016, p. 75) explicam que o “[...] sistema *RGB* está fundamentado na visão humana, que é sensível aos comprimentos de onda das radiações eletromagnéticas na região do vermelho, verde e azul [...]”. Menezes (2012, p. 124) complementa que o “[...] sistema de cores *RGB* tem como qualidade destacada a liberdade para o analista explorar as possíveis combinações de três cores com três bandas, para obter a imagem colorida de melhor contraste [...]”.

O sistema *RGB* baseia-se na adição de um triplete de bandas que, ao serem associadas aos canais vermelho, verde e azul, possibilitam a obtenção de diversas tonalidades de cores (MIRANDA *et al.*, 2016). Menezes (2012), no entanto, ressalta um aspecto importante a ser considerado na atribuição das cores às bandas:

Experimentos mostram que o número de bastonetes sensíveis ao azul é muito menor do que para as cores vermelha e verde, e por isso, a sensibilidade da visão humana às cores azuis é mais baixa do que às cores verde e vermelha [...]. Em função disso, é aconselhável que ao se montar uma composição colorida deve-se associar a cor verde ou a cor vermelha à banda de maior variância, portanto, de maior contraste, destinando a cor azul à banda de menor variância (MENEZES, 2012, p. 128).

Dessa forma, no processamento digital das imagens, bandas de sensores multiespectrais são adicionadas aos canais azul, vermelho e verde. Essa atribuição é realizada com base na característica espectral de cada banda, a fim de realçar diferentes alvos na superfície terrestre, principalmente a vegetação.

2.5 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE (TST)

A investigação da dinâmica térmica da superfície terrestre desempenha um papel crucial no campo da Climatologia Urbana. Neste contexto, a Temperatura de Superfície Terrestre (TST do inglês *Land Surface Temperature - LST*) se estabelece como um parâmetro-chave na física dos processos da superfície terrestre, influenciando diretamente a troca de radiação de onda longa e nos fluxos de calor turbulentos na interface superfície-atmosfera, em escalas regionais e globais (WAN, 1999).

Sendo assim, a TST reflete o balanço de energia na superfície e funciona como indicador de degradação terrestre, além de apresentar elementos importantes para estudos que utilizam modelos climáticos (ARAÚJO; DI PACE, 2007; PENNA, 2014). Segundo LI *et al.* (2023, tradução nossa), a TST pode ser definida como:

A temperatura termodinâmica de uma fina camada na interface entre o solo, a vegetação ou outros componentes da superfície e a atmosfera. Ela reflete o quão quente ou frio a superfície da Terra parecia ao toque. No contexto do sensoriamento remoto, essa fina camada (isto é, a superfície terrestre) corresponde a uma superfície projetada contínua que abrange todos os componentes visíveis dentro do campo de visão instantâneo do sensor, cuja espessura é da ordem da profundidade de penetração da radiação (LI *et al.* 2023, p. 3).

A compreensão da TST é essencial, pois permite avaliar variações temporais e espaciais do estado da superfície, sendo aplicada em uma variedade de campos, incluindo clima urbano, mudanças climáticas, ciclo hidrológico, evapotranspiração, monitoramento de vegetação e estudos ambientais (LI *et al.*, 2013).

Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto a obtenção precisa da TST tornou-se ainda mais relevante. De acordo com Dash *et al.* (2002), o uso de sensoriamento remoto torna-se indispensável para estimar a TST em escala regional ou global. Anteriormente, a temperatura de superfície era medida apenas de maneira pontual, por meio de radiômetros terrestres ou aeronaves.

Atualmente, a TST é estimada através da radiância captada por sensores termais a bordo de satélites, permitindo a análise de grandes áreas de forma mais abrangente e detalhada (PENNA, 2014). Nessa perspectiva, Wan (1999, tradução nossa) afirma que “[...] a temperatura de superfície medida por satélite pode servir para aprimorar modelos e métodos de avaliação do balanço de energia da superfície terrestre [...]”.

Para que essa precisão seja garantida a TST depende de três fatores principais: 1) a correta avaliação dos efeitos atmosféricos; 2) uma estimativa confiável da emissividade da superfície; 3) qualidade do sensor de infravermelho termal, incluindo sua resolução espectral e radiométrica (WAN, 1999). Dentre esses fatores, a correção atmosférica se destaca como etapa fundamental para garantir a precisão dos valores da TST.

Segundo Souza e Silva (2005), esse processo consiste na conversão dos DN (números digitais) dos pixels da imagem em temperatura e reflectância, eliminando os efeitos que a atmosfera causa no sinal de satélite. Corroborando, Souza (2008)

detalha que as funções da correção atmosférica (transmitância e refletância), para estimar temperatura/refletância da superfície, são determinadas em regiões espectrais e processos radioativos, como absorção e emissão.

A respeito do sensor infravermelho, Steinke, Steinke e Saito (2010) destacam que a faixa mais adequada para transmissão da energia emitida pela Terra, e que efetivamente alcança o sensor, situa-se no intervalo de 8,0 a 14,0 μm do espectro eletromagnético. Esse intervalo é amplamente utilizado em estudos de temperatura da superfície por meio de imagens de satélite, uma vez que registra a radiação emitida diretamente pela superfície terrestre. Por sua vez, Dash *et al.* (2002) comentam que a correta avaliação da emissividade da superfície é fundamental, pois variações na emissividade podem gerar erros significativos na estimativa da TST, especialmente em áreas com diferentes tipos de cobertura do solo.

Dessa forma, a temperatura de superfície terrestre tem sido amplamente explorada como ferramenta em pesquisas voltadas à compreensão de processos relacionados ao ambiente urbano e às dinâmicas naturais. Além disso, a TST também apresenta uma interação direta com as características de uso e ocupação do solo (TRAN *et al.*, 2017), o que reforça sua relevância em estudos realizados em diferentes contextos geográficos.

Segundo Steinke, Steinke e Saito (2010), os estudos sobre TST iniciaram-se com o uso dos sensores AVHRR (*Advanced Very-High Resolution Radiometer*) a bordo do satélite NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), que possuíam canais no infravermelho termal e permitiam múltiplas passagens diárias sobre a mesma área, garantindo boa cobertura temporal. Entretanto, devido à baixa resolução espacial ($\sim 1,1 \text{ km}$), a análise detalhada das variações térmicas intraurbanas era limitada, sendo adequada principalmente para estudos em escala regional.

Trabalhos pioneiros utilizando esses sensores, como os de Balling e Brazel (1988), Roth *et al.* (1989) e Lombardo (1985), evidenciaram diferenças de temperatura entre centros urbanos e periferias, embora de forma relativamente genérica. Posteriormente, o avanço para imagens do *Landsat 5* (TM) (banda 6, 120 m) possibilitou análises mais detalhadas da TST, permitindo observar a variação térmica intraurbana em cidades de diferentes portes, bem como nas áreas rurais adjacentes (STEINKE; STEINKE; SAITO, 2010).

Referente aos estudos sobre clima urbano e a relação com a temperatura de superfície, Weng (2009) reforça que:

Técnicas de sensoriamento remoto infravermelho termal (TIR) têm sido aplicadas em clima urbano e estudos ambientais, principalmente para analisar os padrões de temperatura da superfície terrestre (TST) e sua relação com as características da superfície, avaliando ilhas de calor urbanas (ICU) e relacionando TSTs com fluxos de energia de superfície. (WENG, 2009, p.335).

A relação entre a formação de ilhas de calor e a obtenção da TST foram discutidas por Bezerra *et al.* (2023) em um estudo realizado em Rio Branco, no Acre. Os autores utilizaram imagens dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* e constataram que, entre 2000 e 2020, a TST aumentou em 14,97%, resultado associado à expansão urbana e à alteração da vegetação na região.

Weng (2001) aplicou o SR e sistemas de informações geográficas para avaliar o impacto do crescimento urbano desigual na temperatura de superfície em Zhujiang, na China. Os resultados mostraram que o desenvolvimento do solo urbano aumentou a temperatura em 13,01°C. Weng (2001, p. 2011, tradução nossa) ressalta que “[...] a interação do sensoriamento remoto e o sistema de informações geográficas oferece uma maneira eficiente de detectar a expansão urbana e avaliar seu impacto na TST [...]”.

Relacionando a temperatura de superfície e o uso/cobertura do solo em Guangzhou, na China, por meio de dados de sensoriamento remoto, Sun, Wu e Tan (2011) observaram que superfícies construídas e corpos d'água apresentaram as temperaturas mais altas, enquanto as áreas com vegetação e agrícolas registraram temperaturas mais baixas. Isso demonstra que as diferentes classes de uso do solo têm um impacto significativo na TST.

Nascimento, Jardim e Rangel (2018) examinaram a variação da temperatura de superfície no concelho de Coimbra, em Portugal, durante o verão e inverno de 2018. Segundo os autores as áreas urbanas registraram temperaturas mais elevadas, com uma diferença de 6°C em relação às áreas agrícolas e de 7,5°C quando comparadas à área de cobertura vegetal. Os resultados reforçam a influência dos materiais construídos e da baixa cobertura vegetal no aumento da TST.

Santos (2017), ao analisar as diferentes classes de uso e ocupação do solo influenciando na temperatura de superfície em Ribeirão Preto (SP), utilizando o *Software* livre QGIS, constatou que:

As variações de temperaturas estão relacionadas à forma como o solo é ocupado ou modificado interferindo no ambiente local, ou seja, as mudanças no uso e ocupação do solo podem propiciar alterações de temperatura, sendo que nas áreas mais densamente antropizadas, com emprego de materiais

construtivos como fibrocimento e alumínio, pela maior absorção de energia tendem a apresentar os maiores valores de temperatura da superfície (SANTOS, 2017, p. 27).

No município de Jaguari (RS), Prina e Trentin (2016, p. 283) correlacionam o uso da terra e a temperatura de superfície utilizando imagens *Landsat 8*. Os autores salientam que a análise da temperatura de superfície por meio do uso de geoprocessamento, sensoriamento remoto e SIG permite verificar todos os detalhes da correlação com o uso da terra.

Analisando a influência da expansão urbana de Viçosa (MG) na temperatura de superfície entre os anos de 2000 e 2019, Fialho e Santos (2023, p. 399) constataram que os maiores valores da TST se encontram em locais de solo exposto e áreas urbanizadas, e destacam que “[...] a alteração dos usos da superfície, geraram um impacto sentido no aumento dos registros da temperatura de superfície [...]”.

Borges e Batista (2020) em seu estudo sobre as cidades de Maringá e Londrina (PR) analisaram a relação entre a presença de vegetação e a TST, e concluíram que:

Na cidade de Maringá a melhor distribuição de áreas verdes urbanas melhora o microclima, reduzindo a TST de forma mais significativa quando comparada à cidade de Londrina, na qual a presença de vegetação na área central é reduzida em relação a Maringá, e assim insuficiente para atenuar a TST do seu entorno (BORGES; BATISTA, 2020, p. 270).

Além dos grandes centros urbanos, estudos também evidenciaram a influência da urbanização sobre a TST em municípios de pequeno porte. Cruz *et al.* (2023), ao comparar Florínia e Cabrália Paulista (SP), que apresentam extensões semelhantes, mas diferentes usos do solo em seu entorno, verificaram que as áreas urbanas registraram temperaturas mais elevadas em relação às áreas de reflorestamento e naturais. O estudo demonstra que, mesmo em cidades pequenas, a urbanização contribui para o aumento da temperatura de superfície.

Portanto, a temperatura de superfície terrestre se confirma como um parâmetro essencial para avaliar os efeitos da urbanização, revelando como o uso e a ocupação do solo influenciam diretamente na dinâmica térmica da superfície terrestre em diversos contextos geográficos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desta pesquisa foi estruturado em etapas complementares, que abrangeram desde a caracterização do município e das áreas de estudo até a aplicação dos procedimentos técnicos voltados à análise da temperatura da superfície terrestre. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica e documental, essencial para a fundamentação teórica e para a compreensão da dinâmica de expansão territorial, o que possibilitou a delimitação das áreas de estudo. Em seguida, as etapas metodológicas concentraram-se no levantamento da evolução urbana e na análise da TST, englobando a aquisição, o processamento e a interpretação dos dados de sensoriamento remoto.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO E ÁREAS DE ESTUDO

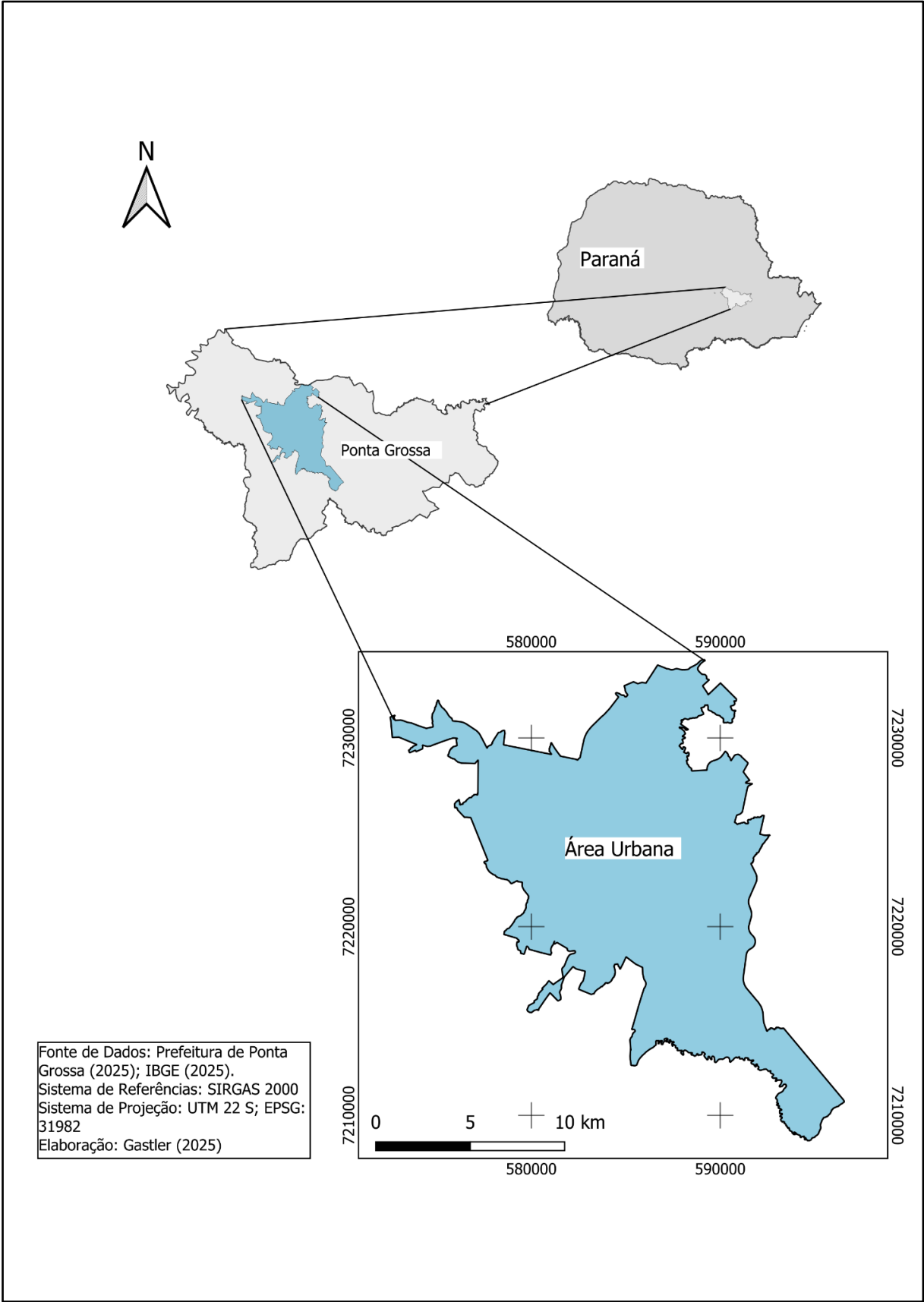
O município de Ponta Grossa localizado na região dos Campos Gerais do Paraná, entre as coordenadas 24° 50' e 25° 25' S e 49° 40' e 50° 25' W, abrange uma área territorial de 2.053,265 km² (IBGE, 2024), com altitude média de 960 m.

A área urbana concentra-se no centro leste do município, apresentando altitudes que variam de 984 m, na área central, a 769 m, na porção sul, ocupando 97,10 km² da área total (IBGE, 2019) (Figura 3).

O povoamento da região que hoje corresponde ao município de Ponta Grossa teve início no século XVIII, com sua origem ligada à concessão de sesmarias para fins de pecuária e às rotas do Caminho das Tropas, onde a região servia como ponto estratégico para pouso, descanso e invernagem. Seu desenvolvimento, baseado na diversificação da pecuária e da agricultura extensiva, garantiu a Ponta Grossa maior autonomia política e econômica, culminando na sua elevação à categoria de município, favorecida por sua posição geográfica estratégica (GOMES, 2009; SCHIMANSKI, 2007).

Atualmente, Ponta Grossa apresenta uma população de 358.371 habitantes e uma densidade demográfica de 174,41 hab/km² (IBGE, 2022). Destes, 98,2% residem na área urbana.

Figura 3 – Localização da área urbana de Ponta Grossa



Fonte: A autora.

3.1.1 Aspectos Físicos-Naturais

O clima local caracteriza-se por um clima mesotérmico úmido (Cfb), conforme a classificação de Köppen, com verões amenos e invernos frescos, e chuvas distribuídas uniformemente ao longo do ano. A temperatura média anual gira em torno de 18°C, com máximas que podem ultrapassar 27°C no verão e mínimas que ocasionalmente chegam a 10°C no inverno. A precipitação anual média varia entre 1.400 mm e 1.600 mm, com maior concentração de chuvas nos meses de verão, sem a definição de uma estação de seca (IAPAR, 2019).

A dinâmica climática da região é influenciada pela entrada de massas de ar polar durante o inverno, responsáveis pela queda acentuada das temperaturas e pela ocorrência de geadas que, segundo Maack (2002), ocorrem em média mais de cinco vezes ao ano. Além disso, variáveis como insolação, precipitação, umidade relativa do ar e direção dos ventos condicionam as características atmosféricas locais, afetando diretamente as temperaturas registradas (CRUZ, 2014). Estes elementos constituem fatores fundamentais para a compreensão do comportamento térmico das diferentes superfícies no município.

Do ponto de vista geológico, o município de Ponta Grossa insere-se no contexto da Bacia do Paraná, marcada pela influência estrutural do Arco de Ponta Grossa e pela presença de rochas sedimentares e ígneas que sustentam os principais compartimentos do relevo regional. Entre elas, destacam-se os arenitos da Formação Furnas e os folhelhos da Formação Ponta Grossa, além dos depósitos do Grupo Itararé e das soleiras e diques de diabásio relacionados com o Magmatismo Serra Geral (GUIMARÃES *et al.*, 2003).

Inserido no Segundo Planalto Paranaense, a área é caracterizada por um relevo acidentado com variações de altitudes. A porção central urbana está assentada sobre um espigão de onde partem diversas drenagens. Estruturalmente, o relevo é composto por um sistema de divisores d'água e numerosos fundos de vale que apresentam encostas com declividades acima de 30% (MENEGUZZO; MELO, 2003). Conforme destaca Cruz (2009), fatores como a altitude e a exposição de vertentes condicionam o padrão de ocupação urbana e influenciam a dinâmica climática local.

Quanto às formações fitogeográficas, no município são encontradas Florestas Ombrófilas Mistas, incluindo seus subtipos Montana e Aluvial (floresta com araucárias e florestas ripárias), além de campos naturais do tipo estepe gramíneo-lenhosa,

caracterizados por vegetação predominantemente herbácea e subarbusiva composta por hemicriptófitas, geófitas, terófitas e nanofanerófitas, que variam quanto à forma de proteção e ao desenvolvimento de seus órgãos de crescimento. Também ocorrem, fragmentos de cerrado (savana) (MORO; CARMO, 2014).

A rede de drenagem local está vinculada à bacia hidrográfica do rio Tibagi, composta por afluentes de diferentes ordens que estruturam o sistema hídrico municipal. Entre os cursos d'água de maior relevância destacam-se os rios Pitanguí, Verde, Botuquara e Ronda, além de córregos menores que percorrem áreas urbanizadas e confluem para esses eixos principais. Segundo Cruz (2009), esses rios e arroios apresentam padrão de drenagem condicionado pela estrutura geológica e pelas formas de relevo, com canais encaixados em fundos de vale que delimitam áreas de expansão urbana e influenciam a dinâmica ambiental da cidade.

3.1.2 Urbanização de Ponta Grossa

A evolução da mancha urbana de Ponta Grossa, desde o núcleo inicial até a configuração atual, é analisada em estágios para melhor compreensão. De acordo com Monastirsky (1997), o processo de urbanização da cidade passou por quatro fases principais, diferenciadas pelo padrão de ocupação e pelos vetores de expansão territorial.

Na primeira fase, anterior a 1920, a urbanização correspondeu a instalação do núcleo urbano em áreas contíguas à Igreja Matriz de Sant'Ana. Gonçalves e Pinto (1983) destacam que somente nas últimas décadas do século XIX, a cidade vivenciou uma transição crucial no padrão ruralista para a centralidade urbana, motivada pelos proprietários de terra que buscavam diversificar suas atividades econômicas. Essa mudança intensificou a concentração de atividades, alterando a estrutura social e econômica, e consequentemente substituindo a autossuficiência das fazendas pela centralidade.

A segunda fase, entre 1920 e 1950, foi marcada pela influência decisiva da ferrovia no traçado urbano. Já no início do século XX, Ponta Grossa apresentava uma população urbana superior à rural, fator relacionado ao funcionamento das estradas de ferro e à ampliação das possibilidades comerciais (STAMOULIS; MADALOZZO, 2023). Esse processo refletiu no parcelamento do solo nas áreas lindeiras à malha

ferroviária, gerando bairros vinculados à rede, como Oficinas e Cará-Cará a sul e Uvaranas a leste (MONASTIRSKY, 1997).

Nesse contexto, Gomes (2009) observa que a partir da década de 1940, o crescimento substancial da população urbana já esboçava a expansão em forma “tentacular” ao longo dos corredores leste, noroeste e sul da cidade, o que resultou na formação de novos bairros, como Órfãs a norte, Nova Rússia a noroeste e Ronda a oeste, entre as décadas de 1930 e 1940, prenunciando a expansão da fase seguinte.

Por sua vez, a terceira fase, de 1950 a 1970, marca a maior expansão urbana em termos de área loteada, com a proliferação de loteamentos contíguos e mais distantes, impulsionada por um notável salto demográfico que ocorreu entre as décadas de 1950 e 1960, como mostra a Tabela 1.

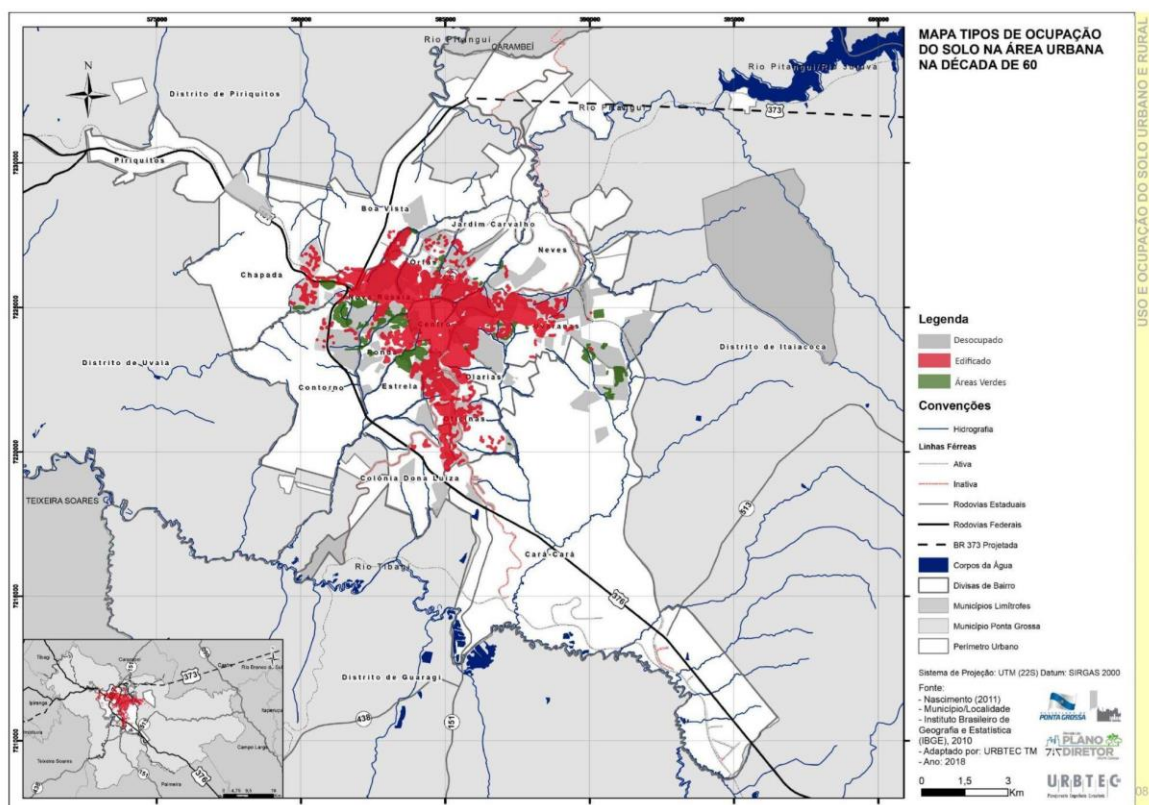
Tabela 1 – Crescimento da população urbana de Ponta Grossa de 1940 a 1970

Ano	População Urbana
1940	30.200
1950	43.486
1960	78.557
1970	112.253

Fonte: Adaptado de Gomes (2009).

Nesse período, a expansão acelerou a multifuncionalidade dos eixos: Nova Rússia ganhou importância devido à instalação e crescimento de indústrias e estabelecimentos comerciais, e Oficinas se expandiu pela diversificação comercial. Já Uvaranas se destacou pela função predominantemente residencial (GOMES, 2009). Essa expansão pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 – Ocupação do solo na área urbana em 1960



Fonte: Ponta Grossa (2018).

Já a quarta fase, iniciada a partir de 1970, marca uma transição fundamental no desenvolvimento do município. O planejamento urbano geral, que buscava ordenar a cidade em sua totalidade, só teve início nessa década, sendo formalizado com o primeiro Plano Diretor (PD) em 1972 (CRUZ, 2009), o que evidencia que o crescimento anterior foi predominantemente espontâneo.

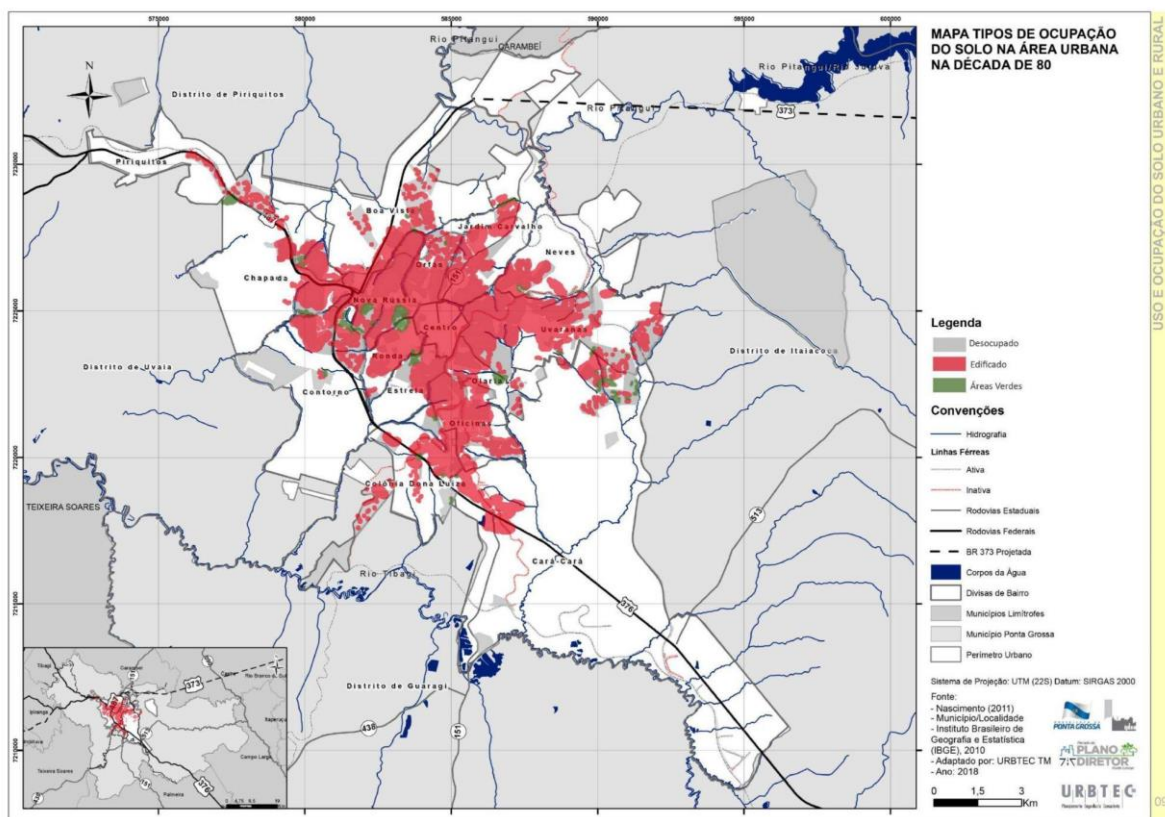
No mesmo contexto de planejamento, a década de 1970 destaca-se com a instalação de núcleos habitacionais nas áreas periféricas, evidenciando um processo de periferização. Segundo Monastirsky (1997), nesse período a expansão horizontal se consolidou com novos loteamentos periféricos, além da construção de diversos conjuntos habitacionais pelo Estado, o que contribuiu para a densificação da periferia. Entre 1970 e 1980 a cidade passou por um crescimento vertical significativo na área central e nas proximidades. A partir desse período, edifícios multifamiliares e mistos começaram a surgir em zonas residenciais intermediárias, aumentando a densidade demográfica e alterando o perfil urbano do município.

Neste sentido, a densificação do Distrito Industrial Cyro Martins, localizado na porção sudeste, destacou-se como um dos principais motores da expansão urbana.

Implementado na década de 1970, o distrito impulsionou a modernização das indústrias já existentes e favoreceu a instalação de novas empresas, promovendo maior dinamismo econômico na região da Avenida Visconde de Mauá. Paralelamente, a abertura de loteamentos nessa área contribuiu para o aumento da densidade populacional, fortalecendo o crescimento e a organização do espaço urbano nas regiões sul e sudeste da cidade (NASCIMENTO; MATIAS, 2011).

A partir da década de 1980, Ponta Grossa vivenciou transformações significativas em sua estrutura urbana e no sistema de transporte. Segundo Gomes (2009), a substituição gradual da ferrovia pelo transporte rodoviário foi um processo marcante nesse período, reorganizando a mobilidade e possibilitando a expansão de novas áreas urbanizadas. Como consequência, surgiram novos loteamentos nas regiões norte e noroeste, ao longo das rodovias PR- 151 e BR-376, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Ocupação do solo na área urbana em 1980



Fonte: Ponta Grossa (2018).

Na década de 1990, além elaboração de outro Plano Diretor na cidade, ocorreu a revalorização da área central, especialmente do antigo pátio ferroviário. De acordo com Gomes (2009), essa requalificação incluiu a implantação do terminal central de transporte coletivo urbano e a criação do complexo ambiental Governador Manoel Ribas, substituindo as antigas instalações do pátio ferroviário e reforçando a integração do centro urbano com áreas adjacentes. Durante este período, a urbanização da cidade avançou de forma significativa com o aumento da ocupação na região dos bairros Contorno e Neves.

Stamoulis e Madalozzo (2023) ressaltam que, nas décadas de 1990 e 2000, o processo de urbanização de Ponta Grossa avançou de forma acelerada ao longo da BR-376. Esse crescimento contínuo consolidou novas áreas urbanas, incentivou a implementação de loteamentos periféricos e reforçou a integração da cidade com os principais eixos rodoviários da região, evidenciando profundas transformações na estrutural e na funcionalidade do espaço urbano pontagrossense.

Figura 6 – Evolução urbana de Ponta Grossa em 2000, 2005, 2010 e 2016

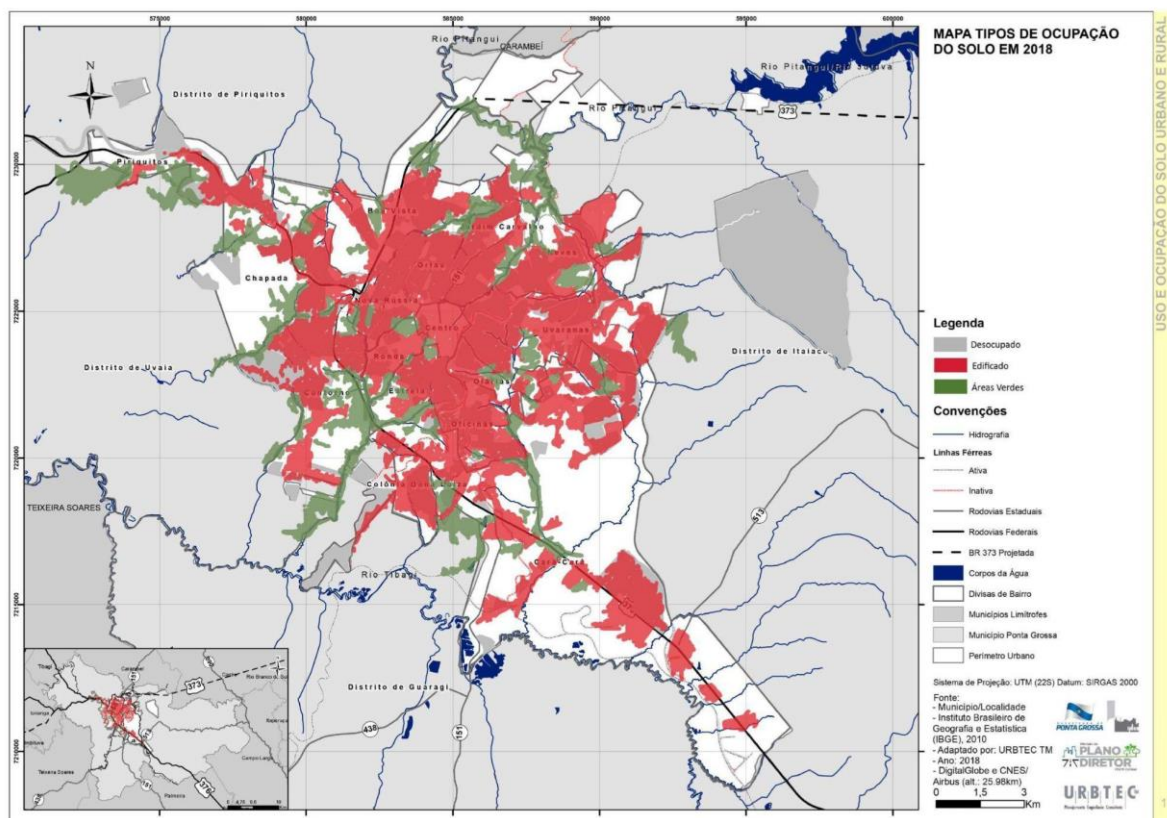


Fonte: Ponta Grossa (2018).

A cidade teve um crescimento acelerado entre 2000 e 2016, conforme a Figura 6, marcado pelo avanço da ocupação em todas as direções e pela intensificação do espraiamento urbano, especialmente nas regiões dos bairros Contorno e Neves. Observa-se a ocupação crescente das bordas do perímetro urbano, com destaque para a porção oeste do bairro Chapada, o extremo sudoeste do Bairro Colônia Dona Luíza e o espalhamento no sentido sudeste e noroeste (PONTA GROSSA, 2018).

Esse processo reflete um modelo de urbanização dispersa, orientado pelos principais eixos viários e consolidado mesmo após a implementação do Plano Diretor de 2006, que, embora buscasse ordenar o crescimento, acabou favorecendo a ampliação do perímetro urbano. Como resultado, a cidade passou a apresentar uma configuração fragmentada, com vazios urbanos e maiores distâncias entre áreas residenciais periféricas e zonas centrais, o que eleva os custos de infraestrutura e acentua os desafios do planejamento urbano (PONTA GROSSA, 2018).

Figura 7 – Ocupação do solo na área urbana em 2018



Fonte: Ponta Grossa (2018).

A expansão urbana de Ponta Grossa mostra-se mais consolidada em 2018 (Figura 7), com a continuidade do crescimento em direção às áreas sul e sudoeste, especialmente nos bairros Chapada e Colônia Dona Luíza. Nota-se a redução de áreas verdes nas proximidades da BR-376 e o adensamento das regiões do Contorno e Neves que passam a integrar de forma mais contínua o tecido urbano. Esse estágio evidencia uma urbanização mais compacta, porém ainda marcada por desigualdades espaciais e pela expansão periférica que desafia o planejamento territorial.

Em 2022, o Plano Diretor foi novamente revisado. Segundo a análise de Stamoulis e Madalozzo (2023, p. 17) “[...] verifica-se 27 novas áreas foram incluídas no perímetro urbano entre os planos de 2006 e 2022 [...]”. Essa expansão foi majoritariamente impulsionada pela política habitacional e pela especulação imobiliária, incluindo 5 áreas para empreendimentos da PROLAR e 2 áreas para implantação das indústrias Frísia e Maltaria Campos Gerais.

Esse intenso processo de expansão urbana e o consequente desafio de planejamento encontram sua base demográfica no crescimento populacional contínuo do município. O aumento expressivo do número de habitantes, ao longo das últimas décadas, ampliou a demanda por habitação, infraestrutura e serviços urbanos, pressionando o poder público a expandir o perímetro urbano e a incorporar novas áreas ao perímetro da cidade.

A Tabela 2 apresenta a evolução da população urbana de Ponta Grossa entre 1980 e 2022, evidenciando a relação direta entre o crescimento demográfico e a expansão urbana do município.

Tabela 2 – Crescimento da população urbana de Ponta Grossa de 1980 a 2022

Ano	População Urbana
1980	172.946
1991	221.671
2000	266.552
2010	304.733
2022	358.367

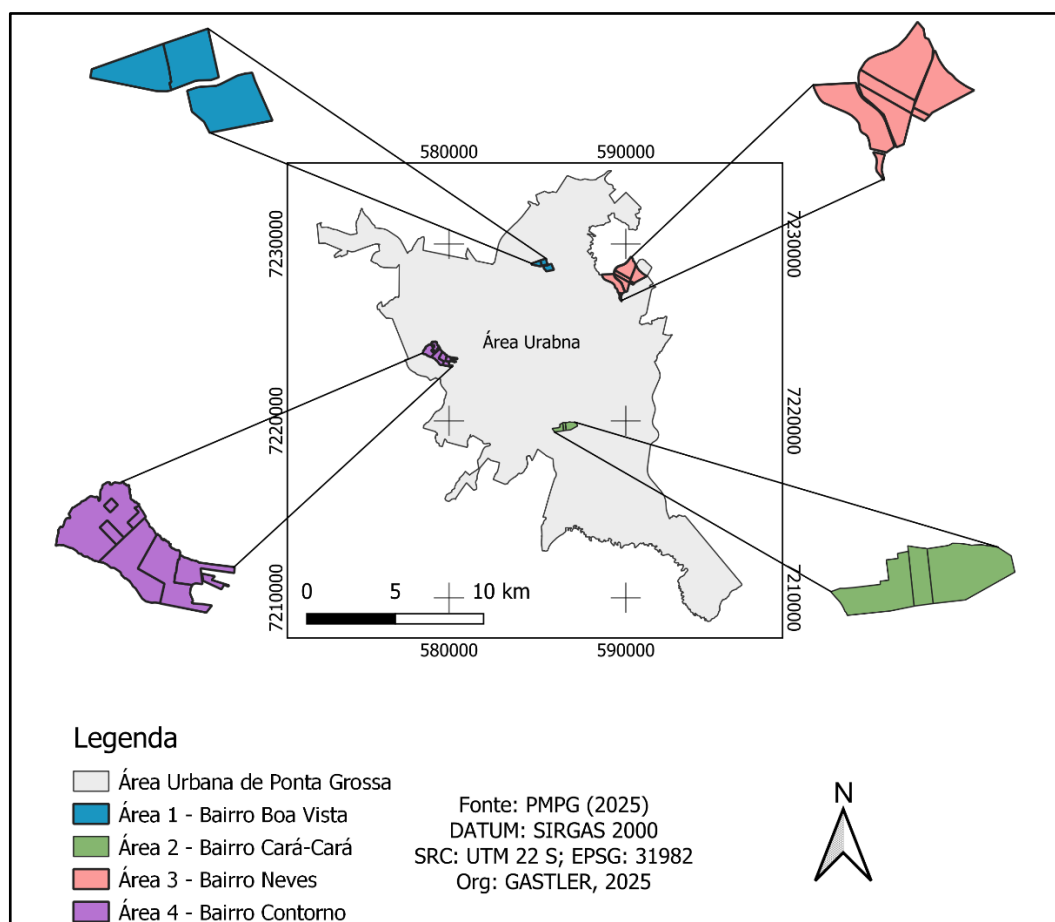
Fonte: Adaptado de Gomes (2009); IBGE, 2010; 2022.

Observa-se que, entre 1980 e 2022, a população de Ponta Grossa quase dobrou, passando de 172.946 mil para mais de 358 mil habitantes. Esse aumento constante acompanha as fases de expansão urbana já descritas, reforçando a tendência de espraiamento e a consolidação de novas áreas residenciais periféricas. Assim, o crescimento populacional atua como um vetor central da dinâmica urbana pontagrossense, intensificando os desafios de ordenamento territorial e de provisão de infraestrutura básica.

3.1.3 Áreas de Estudo

As áreas selecionadas para a realização deste estudo localizam-se na área urbana do município de Ponta Grossa (PR) (Figura 8) e foram definidas de modo a representar diferentes dinâmicas do processo de urbanização local. A escolha dessas áreas baseou-se em compreender como o avanço da urbanização, em diferentes contextos socioespaciais, tem influenciado o comportamento térmico local.

Figura 8 – Mapa de localização das áreas de estudo



Fonte: A autora.

As áreas analisadas distribuem-se nos bairros Boa Vista, Cará-Cará, Neves e Contorno. Cada uma delas é composta por loteamentos criados em períodos distintos, os quais representam tipologias variadas de ocupação urbana, desenvolvidas sob a responsabilidade tanto de construtoras privadas quanto de órgãos públicos, como a Companhia de Habitação de Ponta Grossa (PROLAR), de âmbito municipal, e a Companhia de Habitação do Estado do Paraná (COHAPAR), de âmbito estadual, ambas atuantes na implantação de conjuntos habitacionais vinculados ao Programa Minha Casa Minha Vida (SANTOS, 2022).

As principais informações referentes a esses loteamentos estão organizadas no Quadro 3, a seguir.

Quadro 3 – Informações referentes aos loteamentos

(continua)

Áreas	Loteamentos	Decreto	Responsável
Área 1 - Bairro Boa Vista	Condomínio Terra Nova	Sem dados	Sem dados
	Condomínio Moradas	Sem dados	Sem dados
	Condomínio Porto Belvedere	Sem dados	Sem dados
Área 2 - Bairro Cará-Cará	Jardim Amália I	Nº 3213/2009	PROLAR
	Jardim Amália II	Nº 3214/2009	PROLAR
	Jardim Ibirapuera	Nº 5299/2011	Privado
Área 3 - Bairro Neves	Lagoa Dourada II	Nº 205/1998	Privado
	Lagoa Dourada I	Nº 356/2000	Privado
	Residencial Londres	Nº 5653/2011	Privado
	Jardim Panamá	Nº 5845/2012	PROLAR
	Residencial Costa Rica	Nº 6413/2012	Privado
	Jardim das Flores	Nº 15.007/2018	COHAPAR

(conclusão)

	Bairro Novo	Nº 16650/2019	Privado
Área 4 - Bairro Contorno	Jardim Residencial San Marino	Nº 362/93	Privado
	Jardim Panorama	Nº 464/1998	Privado
	Jardim Dom Bosco	Nº 40/2002	PROLAR
	Residencial Campos Elísios	Nº 5599/2011	Privado
	Vista Santa Paula	Sem dados	Sem dados

Fonte: A autora.

Nota: Os loteamentos que não apresentaram decreto de aprovação ou o responsável pelo empreendimento não tiveram essas informações localizadas nas fontes consultadas.

A caracterização das áreas apresentadas no Quadro 3 possibilita compreender a diversidade de contextos urbanos presentes no município de Ponta Grossa, refletindo distintas fases do processo de expansão territorial. A partir dessa delimitação espacial, os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho buscaram analisar as dinâmicas térmicas associadas ao avanço da urbanização, conforme descrito na seção a seguir.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.2.1 Seleção e Aquisição das Imagens

Para o desenvolvimento desta pesquisa, realizou-se inicialmente um levantamento da evolução urbana do município de Ponta Grossa, por meio do *software* Google Earth Pro, com o objetivo de identificar e delimitar os períodos de maior intensificação na mudança de padrão do uso e ocupação do solo no município e, assim, selecionar os anos e as áreas de estudo a serem trabalhados.

Em seguida, foram obtidas imagens dos satélites *Landsat 5* (TM) e *Landsat 8* (OLI/TIRS), ambas pertencentes à *Collection 2 Level 1*, disponíveis no sítio eletrônico *Earth Explorer*, do *United States Geological Survey* (USGS). As cenas correspondem à órbita 221 ponto 077, que representa a localização referente ao município, abrangendo o período compreendido entre 1992 e 2022.

O *download* das imagens é feito em formato *GeoTIFF*, acompanhado dos respectivos arquivos de metadados. Para o satélite *Landsat 5*, o sensor *Thematic*

Mapper (TM) possui sete bandas espectrais, sendo utilizada a banda termal (Banda 6 - TM), com resolução espacial original de 120 metros, reamostrada para 30 metros pelo USGS, e resolução espacial de 10,4 a 12,5 μm (Quadro 1), destinada à extração da TST.

Já o satélite *Landsat 8* apresenta onze bandas espectrais provenientes dos sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), destacando-se a banda termal (Banda 10 - TIRS), também utilizada para extração da TST, com resolução espacial original de 100 metros, reamostrada para 30 metros pelo USGS e resolução espectral de 10,6 a 11,9 μm (Quadro 2).

As imagens utilizadas na análise estão sintetizadas no Quadro 4, que apresenta os satélites, as datas e estações do ano empregados no estudo.

Quadro 4 – Imagens *Landsat* utilizadas na análise da Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

Satélites	Data de aquisição das imagens	Estação do ano
<i>Landsat 5</i>	25/01/1992	Verão
<i>Landsat 5</i>	19/07/1992	Inverno
<i>Landsat 8</i>	28/02/2022	Verão
<i>Landsat 8</i>	22/07/2022	Inverno

Fonte: A autora.

Nota: As imagens foram selecionadas com base na ausência de cobertura de nuvens e representatividade sazonal, considerando o intervalo de 30 anos entre as datas para a identificação do período de maior intensificação da urbanização.

Cabe ressaltar que a escolha desse intervalo temporal se justifica por abranger um período suficientemente longo para a identificação de mudanças expressivas nos padrões de uso e ocupação do solo, bem como nas condições térmicas das áreas analisadas. Nesse contexto, a utilização combinada dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* mostrou-se adequada, uma vez que ambos apresentam séries históricas contínuas e comparáveis, possibilitando a análise evolutiva entre as décadas estudadas.

3.2.2 Processamento das Imagens de Satélite

O processamento e a análise das imagens dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* foram realizados em ambiente de SIG, utilizando o *software* QGIS 3.28.15, por se tratar de uma plataforma livre e de código aberto, amplamente empregada em estudos de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Nesse ambiente, foram efetuados o pré-processamento das bandas selecionadas e geração de produtos derivados, incluindo os cálculos necessários para a extração da TST e composições coloridas *RGB*.

No *software*, as bandas das imagens selecionadas foram inicialmente organizadas e submetidas ao pré-processamento, que incluiu o recorte conforme as áreas de estudo e, posteriormente, a reprojeção das coordenadas geográficas. Considerando que as imagens *Landsat* são originalmente disponibilizadas no sistema WGS 84 (*World Geodetic System 1984*) e no fuso 22 N, as cenas foram convertidas para o sistema UTM (*Universal Transversa de Mercator*), fuso 22 S, com Datum SIRGAS 2000, em conformidade com o padrão cartográfico adotado no Brasil.

Na sequência, procedeu-se às correções atmosférica e radiométrica necessárias para a extração precisa da TST. Primeiramente, foi aplicada a correção atmosférica para as bandas por meio da técnica DOS 1 (*Dark Object Subtraction*), utilizando o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SPC) (CONGEDO, 2012) no QGIS. De acordo com Pires e Ferreira Jr. (2015), a correção atmosférica é importante para efeito de estudos de temperatura de superfície, pois as imagens de satélite, que possuem o canal termal, possuem limitações devido aos efeitos de absorção e espalhamento causados pela atmosfera durante a passagem do sensor das imagens.

Em seguida, por meio da ferramenta *Raster Calculator* no QGIS, realizou-se a correção radiométrica da imagem com objetivo de converter os dados do pixel de números digitais (*Digital Number* - DN) em radiância espectral do topo da atmosfera (TOA). Segundo Jensen (2009), a radiância é considerada como a intensidade de fluxo radiante por unidade de área da fonte, projetada em uma dada direção.

A conversão para o *Landsat 5* utilizando a Banda 6 (termal) é realizada a partir da equação 1 (NDOSSI; ADVAN, 2016), cujos coeficientes são encontrados nos metadados da imagem.

$$L\lambda = \left(\frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{QCALMAX - QCALMIN} \right) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN\lambda \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$: Radiância espectral na abertura do sensor em $W / (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$;

$LMAX\lambda$ e $LMIN\lambda$: São constantes de calibração de um determinada sensor;

$QCALMAX$ e $QCALMIN$: São os valores máximo e mínimo que o QCAL pode alcançar;

QCAL: Número digital de cada píxel em DM;

Para o *Landsat 8*, a conversão da Banda 10 (termal) em radiância é realizada por meio da equação 2 (NDOSSI; ADVAN, 2016).

$$L\lambda = ML * Qcal + Al - Oi \quad (2)$$

Onde:

$L\lambda$: Radiância espectral na abertura do sensor em $W / (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$;

ML: Fator de escalonamento multiplicativo da radiância de determinada banda;

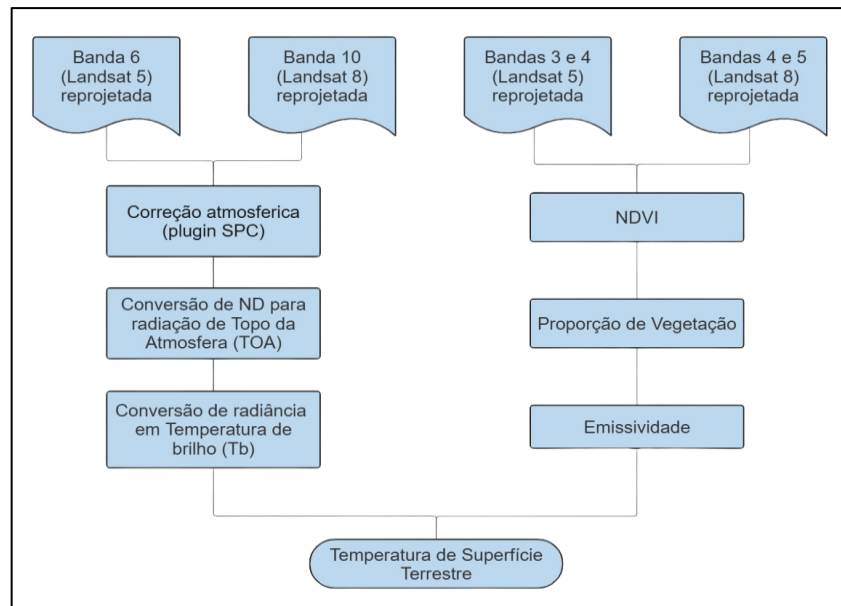
Qcal: DN dos pixels calibrados e quantificados;

AL: Fator de escalonamento aditivo da radiância de determinada banda;

Oi : Fator de correção da banda 10 indicado pelo valor de 0,29.

Tanto as correções realizadas quanto os cálculos subsequentes como temperatura de brilho, índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proporção de vegetação, emissividade de superfície terrestre e TST estão representados no fluxograma (Figura 9), o qual ilustra todas as etapas do processo até a extração final da TST, detalhadas na seção seguinte.

Figura 9 – Fluxograma das operações realizadas para a extração da TST



Fonte: A autora.

3.2.2.1 Cálculos para Extração da TST

A extração da Temperatura de Superfície Terrestre (TST), conforme a Figura 9, envolveu uma sequência de etapas realizadas a partir das bandas e dos sensores termais TM (*Landsat 5*) e OLI/TIRS (*Landsat 8*), considerando as especificidades radiométricas e espectrais de cada satélite.

3.2.2.1.1 Temperatura de brilho (Tb)

A temperatura de brilho corresponde à temperatura que um corpo negro deveria possuir para emitir a mesma quantidade de radiação, por unidade de área, que o corpo real observado (KRUSE *et al.*, 1962). Para converter a radiação em temperatura de brilho é utilizada a equação 3 para ambos os satélites (NDOSSI; ADVAN, 2016).

$$Tb = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{Tb} + 1\right)} \quad (3)$$

Onde:

Tb: Temperatura de brilho do sensor em (K);

$L\lambda$: Radiância espectral do topo da atmosfera;

$K1$: Constante de calibração 1;

$K2$: Constante de calibração 2.

3.2.2.1.2 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é utilizado como parâmetro de associação entre a taxa de bandas (NDVI) e o teor de biomassa na superfície. Proposto por Ndossi e Advan (2016) o índice pode ser obtido por meio das bandas 4 e 3 para o *Landsat 5* e as bandas 5 e 4 para o *Landsat 8* e da equação 4.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

Onde:

$NDVI$: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR : Representa a banda do infravermelho próximo (Banda 4 e 5);

RED : Representa a banda correspondente ao vermelho (Banda 3 e 4).

3.2.2.1.3 Proporção de vegetação (P_v)

A Proporção de Vegetação (P_v) é utilizada para analisar o percentual projetado do solo com cobertura vegetacional e é indicada por Ndossi e Advan (2016) a partir da equação 5, que é possível usar para o *Landsat 5* e *Landsat 8*, e é usada para estimar a Emissividade de Superfície (ϵ).

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (5)$$

Onde:

P_v : Proporção de vegetação;

$NDVI$: Índice de vegetação por diferença normalizada;

$NDVI_{max}$: Valor máximo do NDVI;

$NDVI_{min}$: Valor mínimo do NDVI.

3.2.2.1.4 Emissividade de superfície

Emissividade ε é a relação entre a radiância emitida no comprimento de onda e a emissão de corpo negro no comprimento de onda e temperatura (TANG *et al.*, 2011). Proposta por Sobrino et al. (2004) a emissividade pode ser estimada por meio da equação 6, para ambos os satélites.

$$\varepsilon = m * Pv + n \quad (6)$$

Onde:

ε : Emissividade de superfície;

m: Emissividade do solo;

Pv: Proporção de vegetação;

n: Emissividade da vegetação.

3.2.2.1.5 Temperatura de superfície terrestre (TST)

Para a extração da Temperatura de Superfície Terrestre aplicou-se o cálculo conforme a equação 6 (NDOSSI; AVDAN, 2016).

$$Ts = \frac{TB}{\left\{1 + \left[\frac{\lambda * TB}{\rho}\right] * \ln \varepsilon\right\}} \quad (7)$$

Onde:

Ts: Temperatura de Superfície;

Tb: Temperatura de Brilho;

λ : Comprimento de onda médio da banda termal considerada (μm);

ρ : Constante derivada da razão $h * c / \sigma$

ε : Emissividade da superfície.

A constante ρ é obtida a partir da Equação 7 (NDOSSI; AVDAN, 2016).

$$\rho = \frac{h * c}{\sigma} \quad (8)$$

Onde:

- h: Constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J·s);
 c: Velocidade da luz ($2,998 \times 10^8$ m/s);
 σ : Constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K).

3.2.2.2 Composição Colorida *RGB* e Transectos

Após a obtenção das imagens resultantes dos cálculos da TST, foram elaborados os mapas temáticos correspondentes a cada período analisado. Além disso, geraram-se composições coloridas *RGB* com o objetivo de auxiliar na interpretação visual das transformações no uso e ocupação do solo para os anos estudados. Vale ressaltar que optou-se por não realizar a classificação de uso e ocupação do solo, uma vez que o propósito do estudo não é quantificar as classes de uso, mas sim identificar e comparar, de forma visual, as alterações espaciais decorrentes do processo de urbanização.

As composições coloridas *RGB* foram obtidas a partir das bandas *Red* (B3), *Near-Infrared* (B4) e *Short-wave Infrared* (B5) para o satélite *Landsat 5* (TM) e das bandas *Red* (B4), *Near-Infrared* (B5) e *Swir 1* (B6) para o *Landsat 8* (OLI). As combinações foram realizadas no *software* QGIS, por meio das ferramentas *Raster* em *Miscelânea* e, em seguida, *Mosaico*. Para a geração adequada do *RGB*, as bandas foram organizadas em ordem decrescente (5, 4, 3 para o *Landsat 5* e 6, 5, 4 para o *Landsat 8*), mantendo-as em canais separados. Posteriormente, ajustou-se a colorimetria nas propriedades de simbologia, de modo a realçar as feições de uso e cobertura do solo.

Para a análise dos resultados, elaborou-se perfis lineares (transectos AB) sobre as imagens de TST, com o objetivo de examinar a variação espacial da temperatura nas áreas de estudo. Cada perfil foi delineado de forma a abranger setores representativos do ambiente urbano consolidado e áreas em expansão urbana, permitindo analisar a variação da TST antes e após o processo de urbanização nessas regiões.

Os transectos foram traçados utilizando o *Plugin Profile Tool* (JURGIEL; VERCHERE; BECERRA, 2013) no *software* QGIS, a partir das imagens de TST de cada ano analisado. Essa técnica possibilita identificar gradientes térmicos e compreender a influência do processo de urbanização na variação da temperatura, complementando a interpretação dos mapas da TST e composições coloridas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

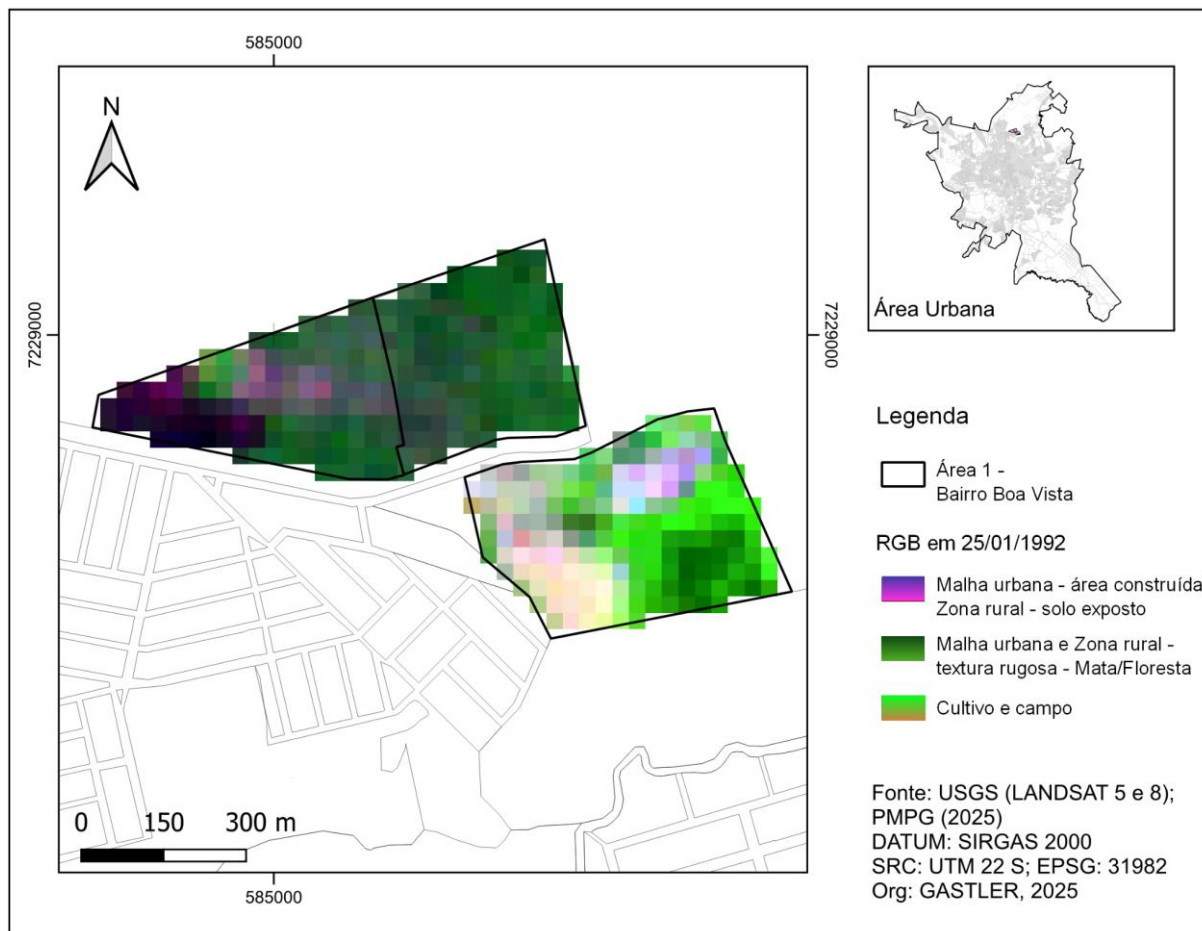
As análises apresentadas nesta seção, abrangendo as quatro áreas de estudo (Figura 8), foram realizadas a partir da extração da Temperaturas de Superfície Terrestre (TST) para os períodos de verão e inverno dos anos de 1992 e 2022, dos mapas de composições coloridas (*RGB*) e dos gráficos dos perfis térmicos gerados pelos transectos AB, definido para cada área. A integração das imagens de satélite permitiu identificar as variações espaciais e sazonais da TST, bem como as transformações no uso e ocupação do solo, relacionando-as à expansão urbana observada ao longo de três décadas.

4.1 ÁREA 1 – BAIRRO BOA VISTA

A Área 1, localizada no bairro Boa Vista, com a presença de conjuntos habitacionais como os loteamentos Condomínio Terra Nova, Moradas e Porto Belvedere, além de apresentar expansão recente em direção à porção norte perímetro urbano.

O verão de ano de 1992 representa o início do período analisado, quando a Área 1 apresentava predominância de cobertura vegetal na região que atualmente corresponde aos loteamentos Condomínio Terra Nova e Moradas, além de porções de solo exposto no sul do atual Condomínio Porto Belvedere. A Figura 10 apresenta o mapa *RGB* para esse período, evidenciando a distribuição espacial das superfícies naturais antes da consolidação ocupação urbana.

Figura 10 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 1992

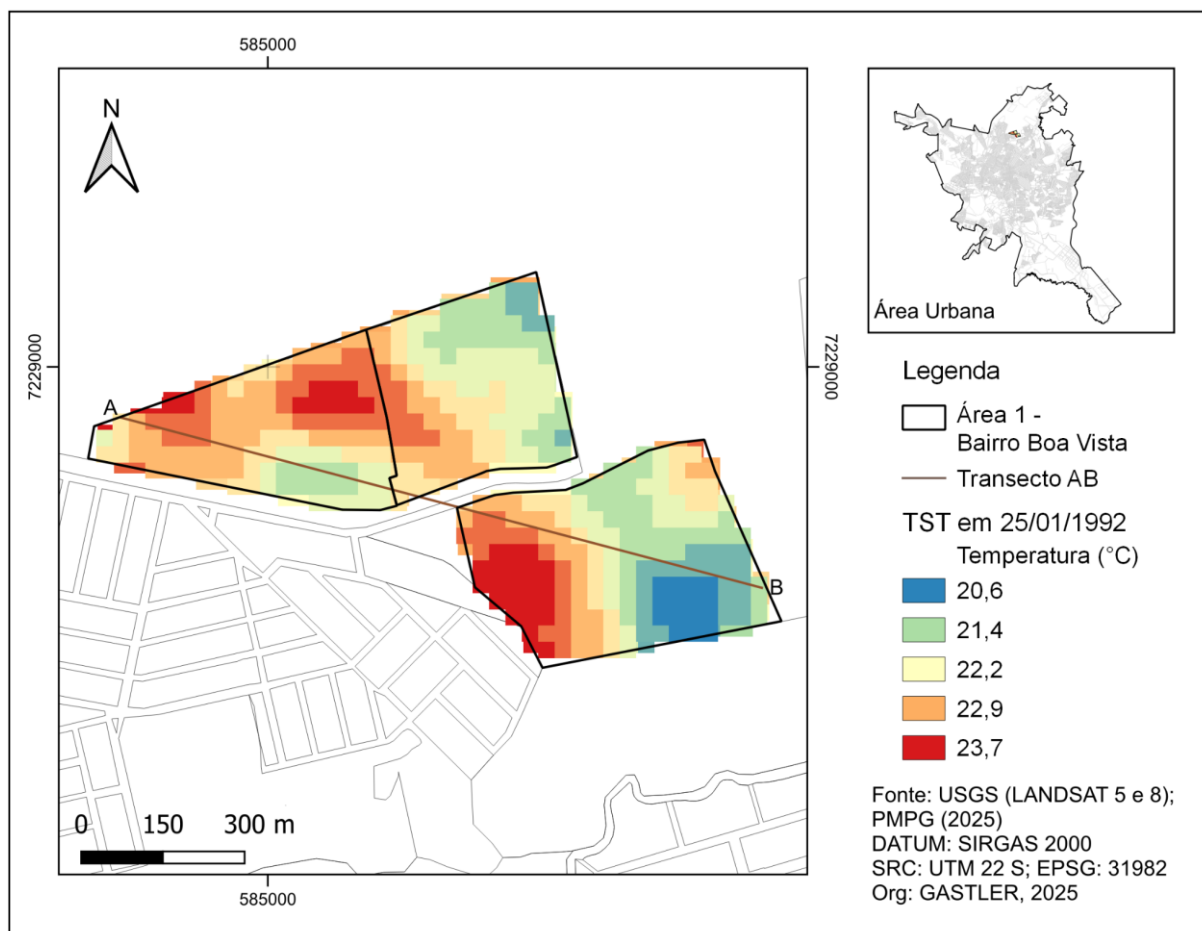


Fonte: A autora.

Durante o verão, observa-se valores mais amenos da TST, com temperaturas variando entre 20,6°C e 23,7°C, conforme ilustrado na Figura 11. As menores temperaturas, entre 20,6°C e 21,4°C, concentraram-se nas porções sudeste e sudoeste da área, onde predominam superfícies vegetadas e solo úmido, características típicas de ambientes com maior capacidade de evapotranspiração. Mesmo nas partes mais expostas, às temperaturas não ultrapassaram 23,7°C, indicando um ambiente termicamente equilibrado e com forte influência da cobertura natural do solo.

Esse comportamento térmico demonstra a influência das coberturas vegetadas na regulação da temperatura, já que as superfícies naturais atuavam como elementos de resfriamento durante o período de maior radiação solar.

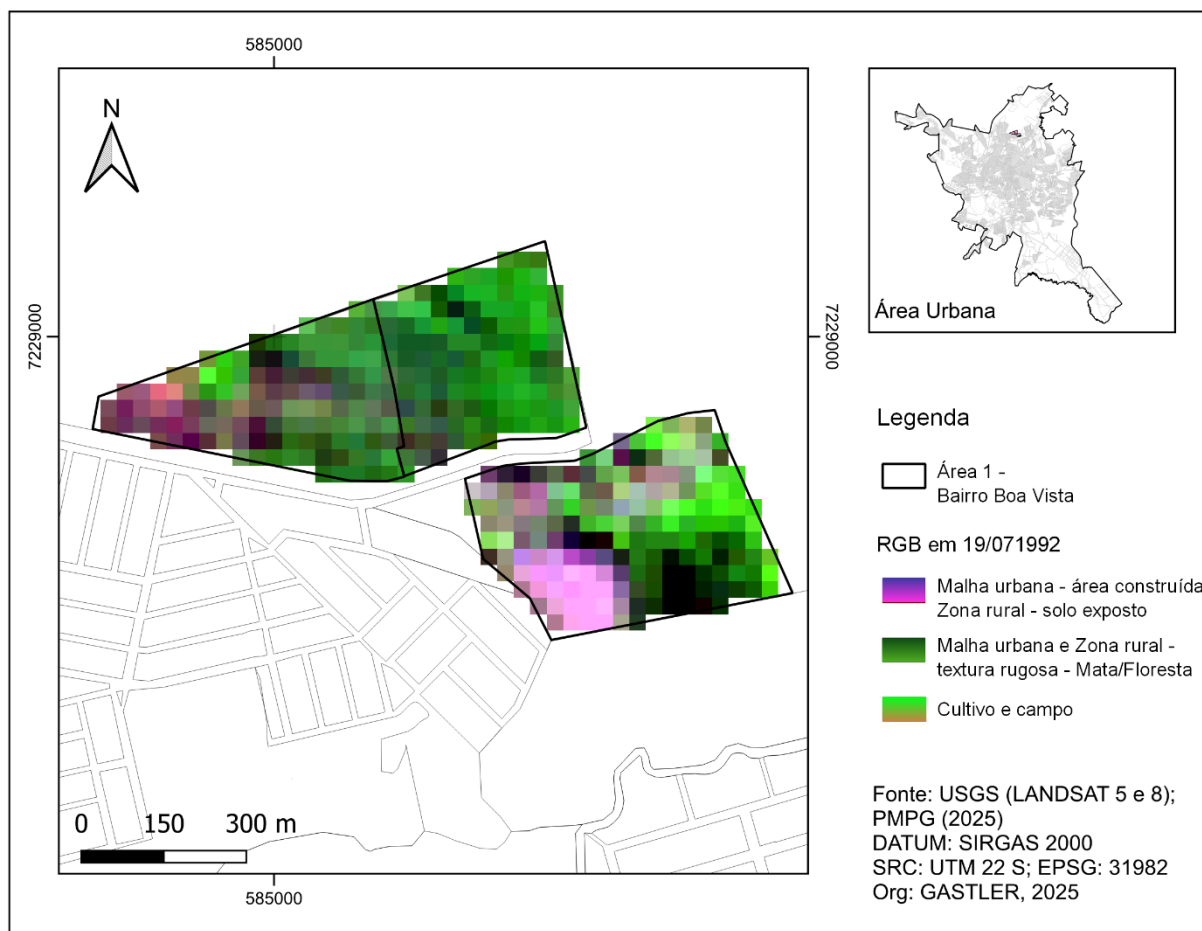
Figura 11 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 1992



Fonte: A autora.

No inverno de 1992 ao observar o *RGB* (Figura 12) revela-se que não ocorreram mudanças significativas na configuração do uso e ocupação do solo em relação ao verão. As áreas de vegetação mantiveram-se estáveis, enquanto as porções de solo exposto tornaram-se mais evidentes, apresentando coloração mais intensa, resultado da menor umidade superficial característica do período. Essa estabilidade na paisagem reforça o predomínio de um espaço ainda natural, no qual a sazonalidade influenciava mais as condições térmicas do que as transformações antrópicas.

Figura 12 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 1992

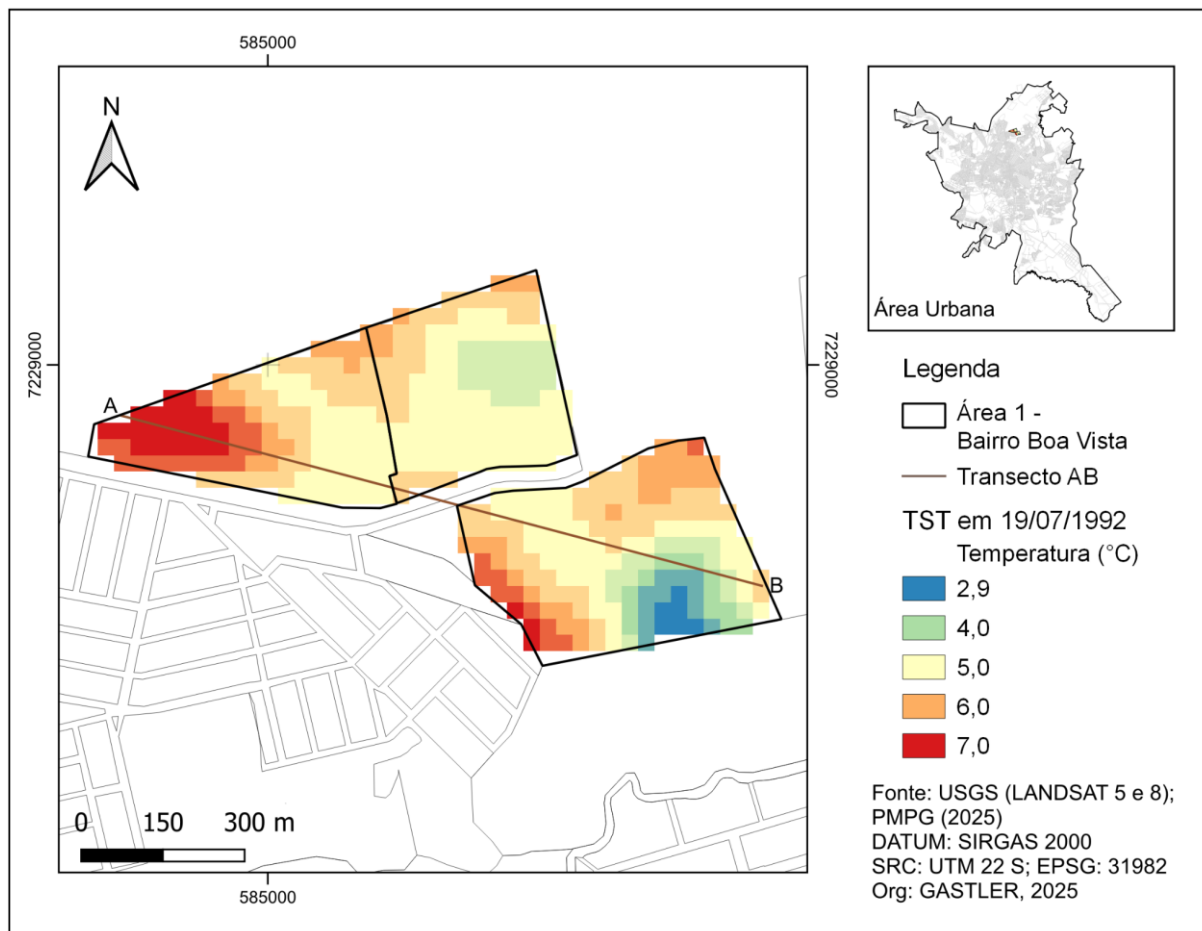


Fonte: A autora.

A Figura 13 confirma essa estabilidade no comportamento térmico da área, embora com uma redução geral das temperaturas, que variavam entre 2,9°C e 7°C. Os valores mais elevados concentraram-se nas porções de solo exposto, que apresentaram aquecimento pontual, enquanto as menores temperaturas foram registradas nas áreas de vegetação localizadas ao sul da área de estudo.

Esse contraste reforça a influência da cobertura vegetal na regulação térmica, evidenciando sua capacidade de atenuar a perda ou o ganho de calor, mesmo sob condições de menor radiação solar.

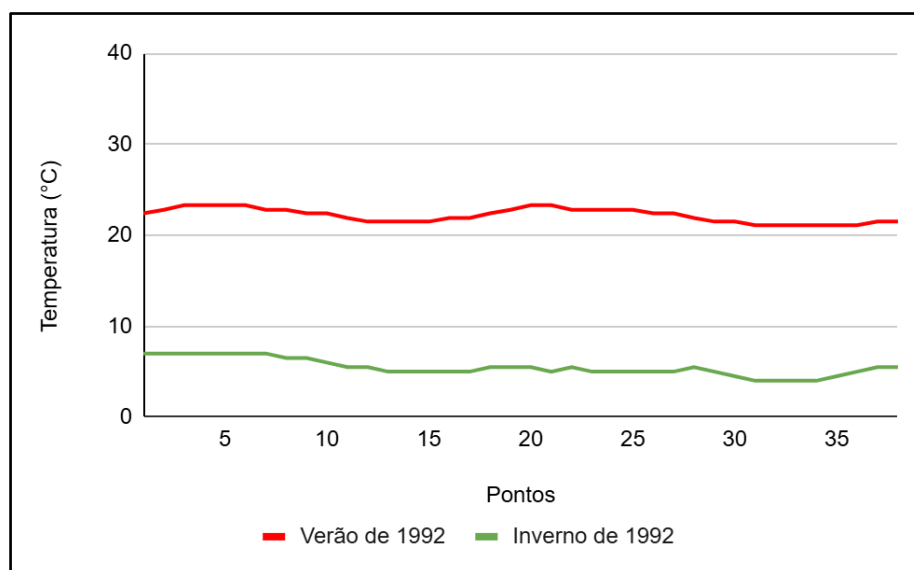
Figura 13 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 1992



Fonte: A autora.

A comparação entre o verão e o inverno de 1992 evidencia que a sazonalidade térmica era bem marcada na área, com diferenças médias de até 16,7°C entre as estações (Gráfico 2). As áreas vegetadas apresentaram maior amplitude térmica sazonal, resfriando-se significativamente no inverno e aquecendo-se durante o verão, enquanto os trechos de solo exposto mantiveram temperaturas ligeiramente mais elevadas ao longo do ano, demonstrando menor sensibilidade às variações sazonais.

Gráfico 2 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão e Inverno de 1992



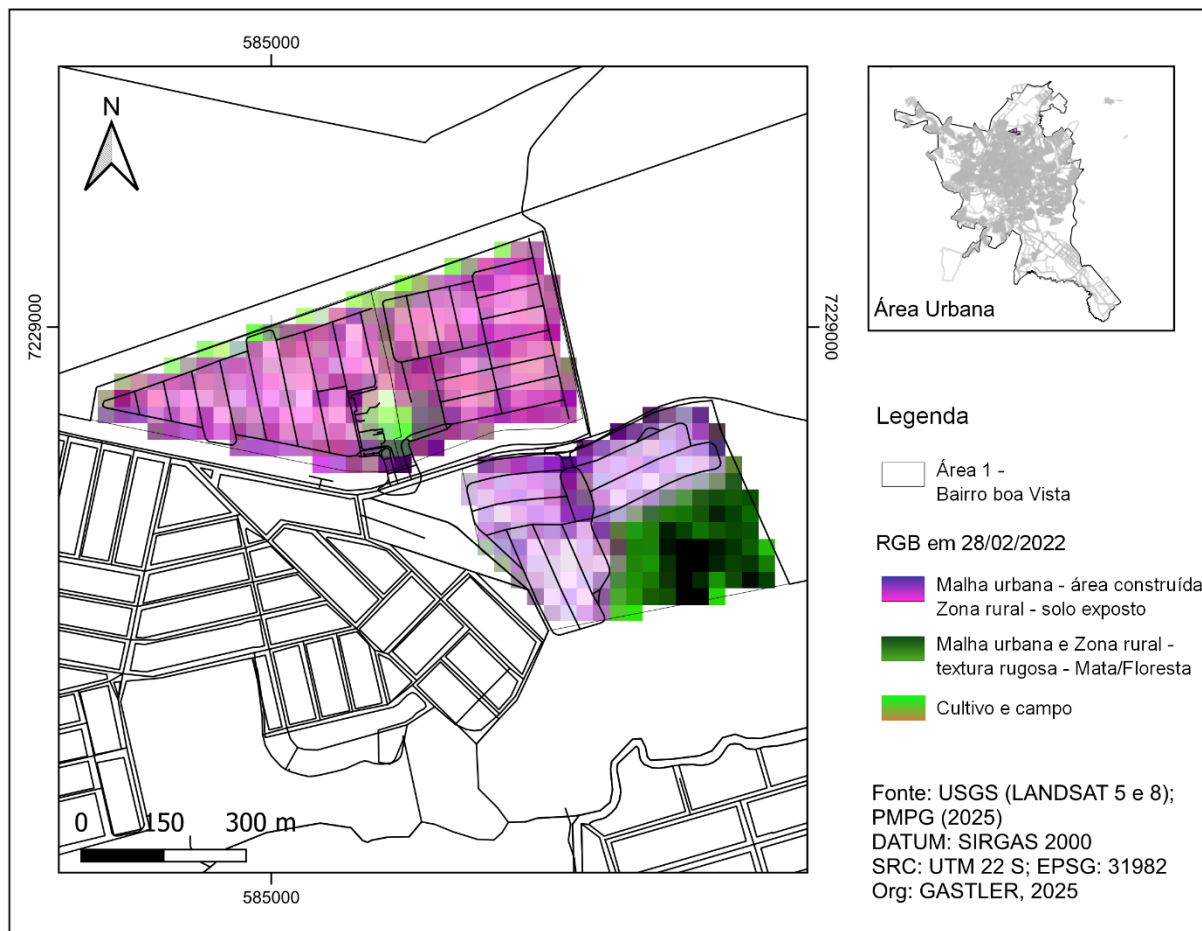
Fonte: A autora.

Entre 1992 e 2009, a área passou por diferentes padrões de uso e ocupação do solo, caracterizados pela alternância entre áreas de cultivo, solo exposto e remanescentes de vegetação natural. Essas mudanças, embora não configurarem ainda um processo urbano consolidado, já indicavam o início da modificação da paisagem original, reduzindo gradualmente a cobertura vegetal contínua e preparando o terreno para a posterior expansão habitacional.

O processo de urbanização nessa área intensificou-se a partir de 2009, com a implantação dos loteamentos residenciais Terra Nova e Moradas, que deram início a ocupação formal da área. Posteriormente, em 2018, foi implantado o Condomínio Porto Belvedere, ampliando a densidade construtiva e consolidando a expansão urbana em direção às porções norte e nordeste do bairro.

Em 2022, observa-se no mapa *RGB* do verão, um cenário profundamente distinto na Área 1, resultado da consolidação dos loteamentos residenciais da área, e da ampliação das superfícies impermeáveis, que passaram a dominar a paisagem local (Figura 14). As transformações no uso e ocupação do solo, impulsionadas pela expansão urbana, modificaram de forma significativa o comportamento térmico da superfície terrestre.

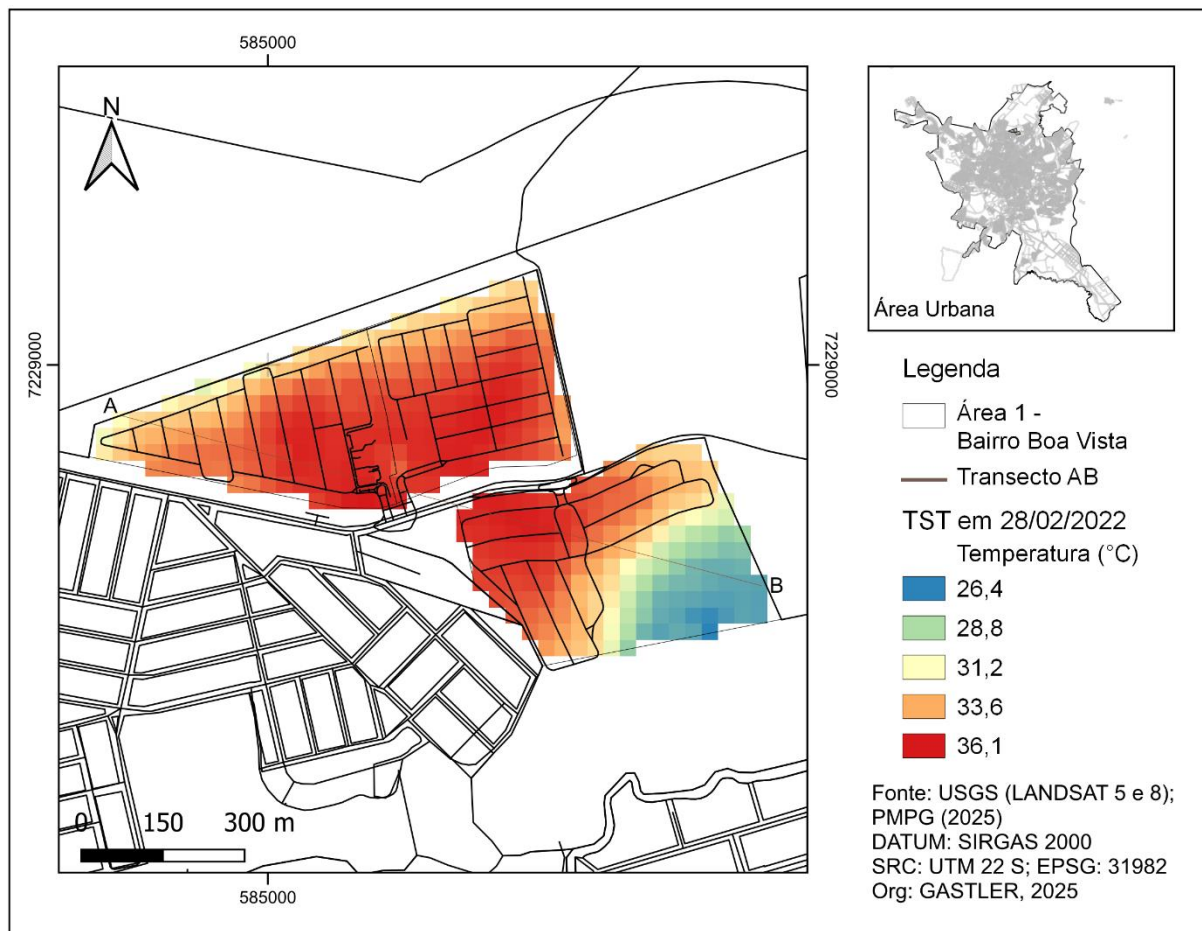
Figura 14 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 2022



Fonte: A autora.

No período de verão, a TST apresentou valores mais elevados, variando entre 26,4 °C e 36,1°C. Conforme detalha a Figura 15, os picos térmicos estavam localizados nas áreas de maior densidade construtiva e pavimentação. As regiões centrais e norte da área destacaram-se como núcleos de aquecimento, alcançando temperaturas superiores às registradas em 1992, o que reflete a substituição da vegetação por residências e solo impermeabilizado. Por outro lado, manchas vegetadas remanescentes, principalmente no setor sudeste, contribuíram para a manutenção de temperaturas mais amenas.

Figura 15 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 2022

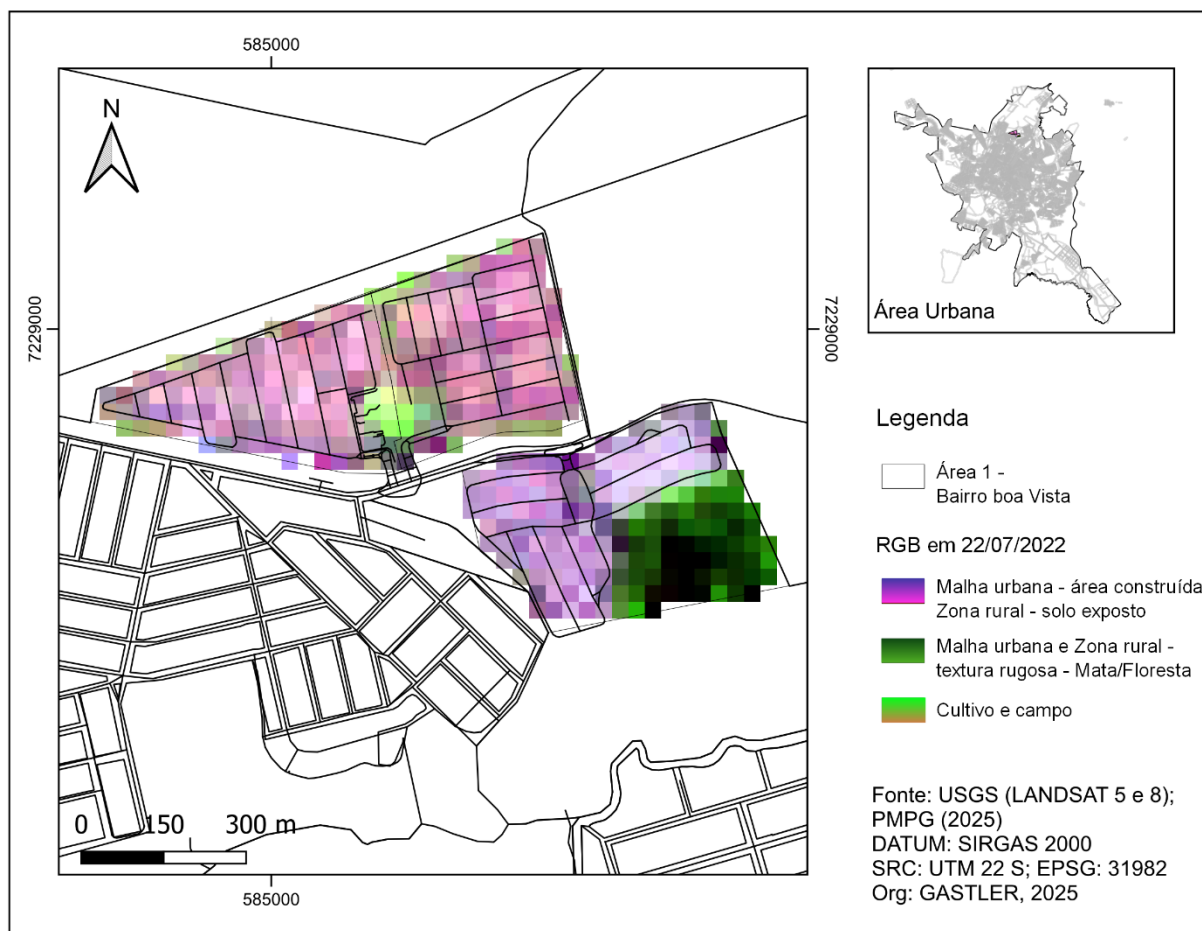


Fonte: A autora (2025).

Na Figura 16, referente ao *RGB* do inverno de 2022, nota-se que ao comparar com o *RGB* do verão (ver Figura 14), não ocorreram alterações significativas na ocupação do solo, uma vez que os loteamentos já se encontravam consolidados. A configuração espacial permanece semelhante, com áreas construídas predominando nas porções centrais e sudoeste, enquanto a vegetação na porção sudeste mantém-se praticamente inalterada.

Essa estabilidade evidencia que, após a consolidação urbana, as transformações sazonais na cobertura do solo são mínimas, reforçando que as alterações térmicas observadas nos diferentes períodos estão associadas principalmente à sazonalidade e às características das superfícies, como pavimentos e áreas verdes.

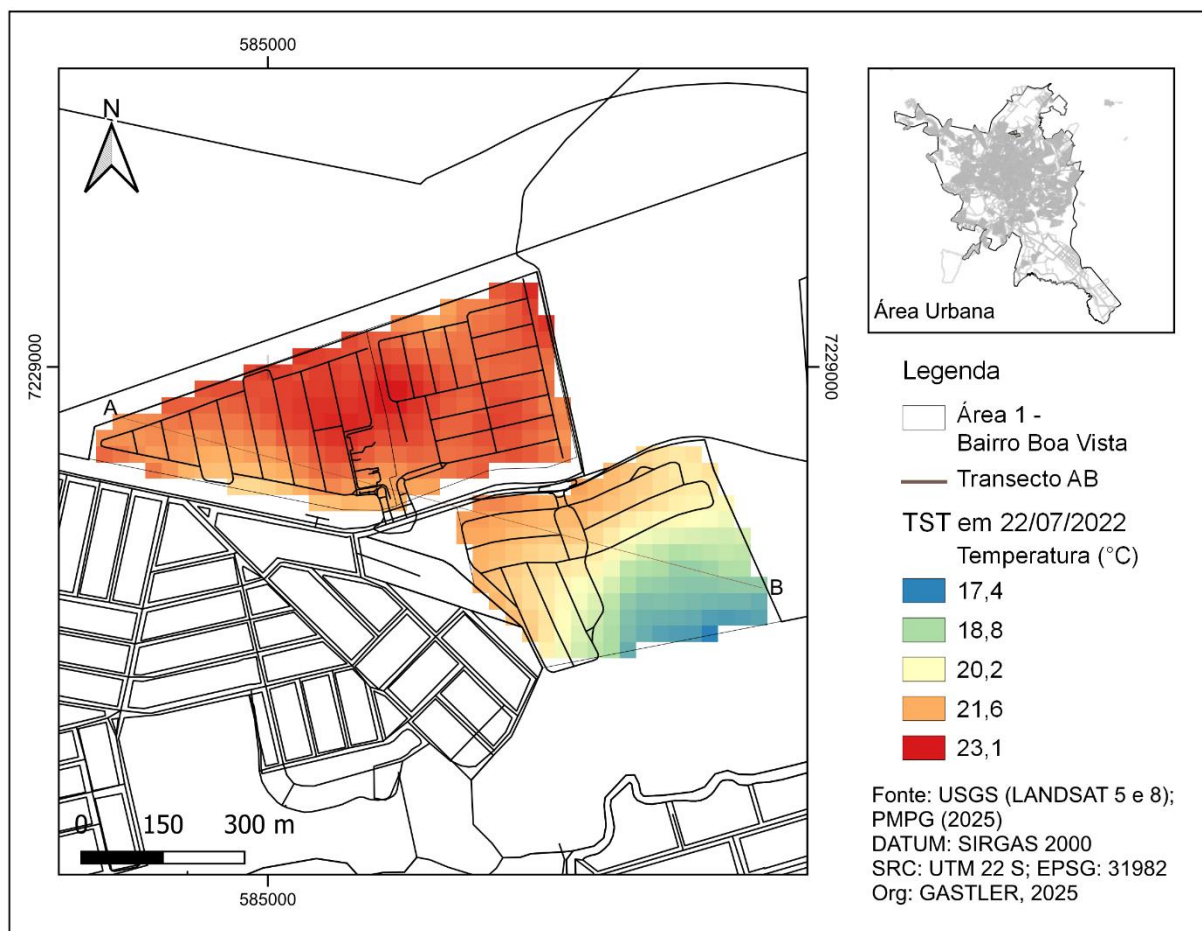
Figura 16 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 2022



Fonte: A autora (2025).

No inverno de 2022 (Figura 17), a TST apresentou uma leve redução, oscilando entre 17,4 °C e 23,1 °C. Apesar da diminuição, a distribuição espacial das temperaturas manteve o padrão observado no verão, com valores mais elevados sobre as áreas densamente construídas que contemplam quase o total da área e temperaturas menores na zona vegetada na porção sudeste.

Figura 17 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 2022

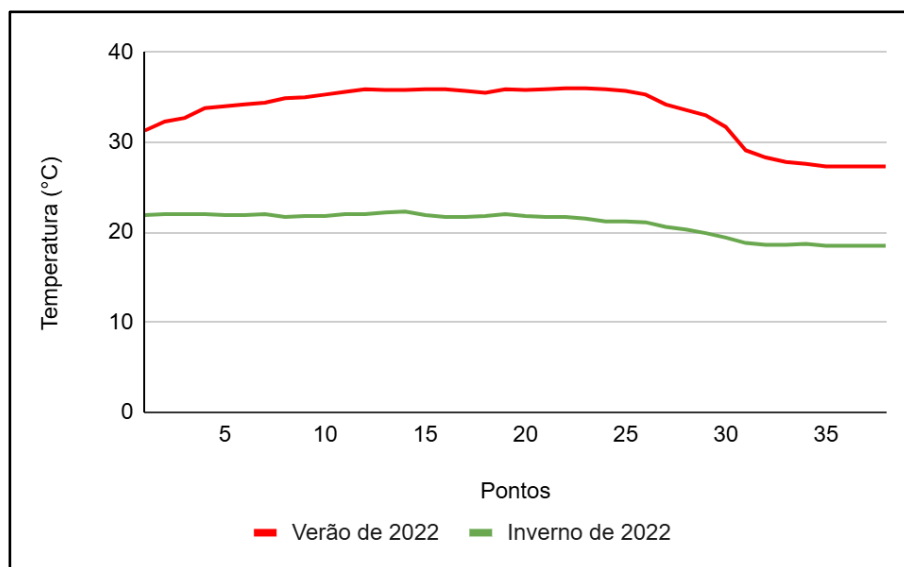


Fonte: A autora.

A comparação entre o verão e o inverno de 2022 revela uma diferença média de aproximadamente 12°C na TST, evidenciando uma menor influência da sazonalidade térmica (Gráfico 3). Embora o inverno apresente temperaturas ligeiramente inferiores, a manutenção de valores elevados em ambas as estações demonstra a capacidade das superfícies urbanas de reter calor ao longo do ano.

As áreas densamente construídas e pavimentadas mostraram comportamento térmico constante, com pequenas variações sazonais, enquanto as zonas com cobertura vegetal residual, especialmente no setor sudeste, continuaram exercendo papel moderador, ainda que de forma restrita. Esse padrão confirma que, em 2022, o comportamento térmico da superfície passou a ser controlado predominantemente pelas características urbanas, com redução significativa da influência das variações sazonais.

Gráfico 3 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão e Inverno de 2022



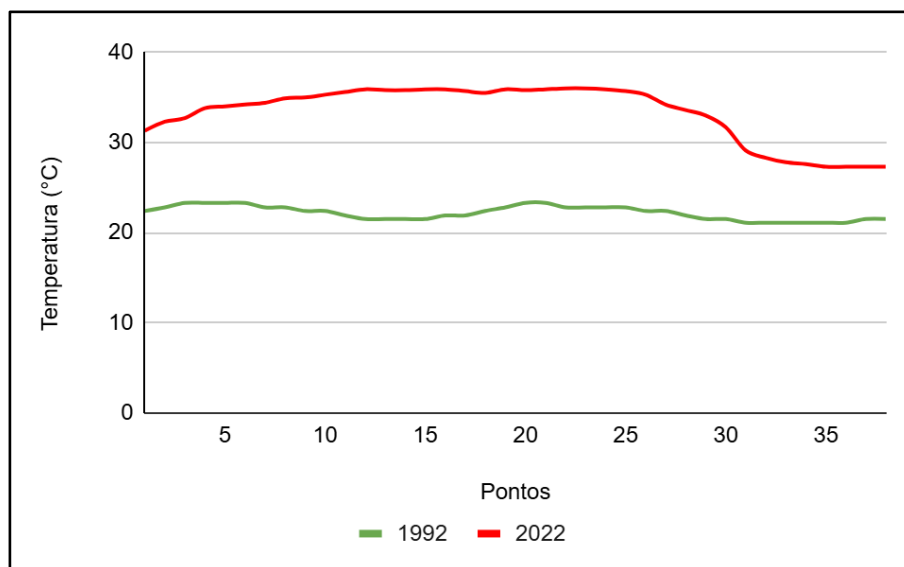
Fonte: A autora.

O comportamento térmico observado nesse período indica uma mudança substancial na dinâmica de aquecimento e resfriamento da superfície em relação a 1992. Enquanto as condições naturais anteriormente moldavam a variação térmica entre as estações, em 2022 a urbanização tornou-se o principal fator de controle da temperatura superficial.

Essa transformação pode ser observada de forma mais clara quando comparadas as TSTs dos dois períodos analisados. A comparação entre os anos de 1992 e 2022 evidencia uma mudança expressiva no comportamento térmico e na ocupação da Área 1. Conforme apresentado nas Figuras 13, 14, 16 e 17, houve um aumento significativo da TST e uma redução das zonas de resfriamento, resultado direto da substituição das áreas vegetadas por loteamentos residenciais e infraestrutura urbana.

O Gráfico 4 demonstra uma elevação média de aproximadamente 12°C entre os dois períodos analisados. Em 1992, os valores variavam entre 21,1°C e 23,3°C, refletindo o predomínio da vegetação e do solo permeável, enquanto em 2022 as temperaturas atingiram picos de até 35,9°C, concentrados nas porções centrais e norte, onde se localizam os conjuntos residenciais.

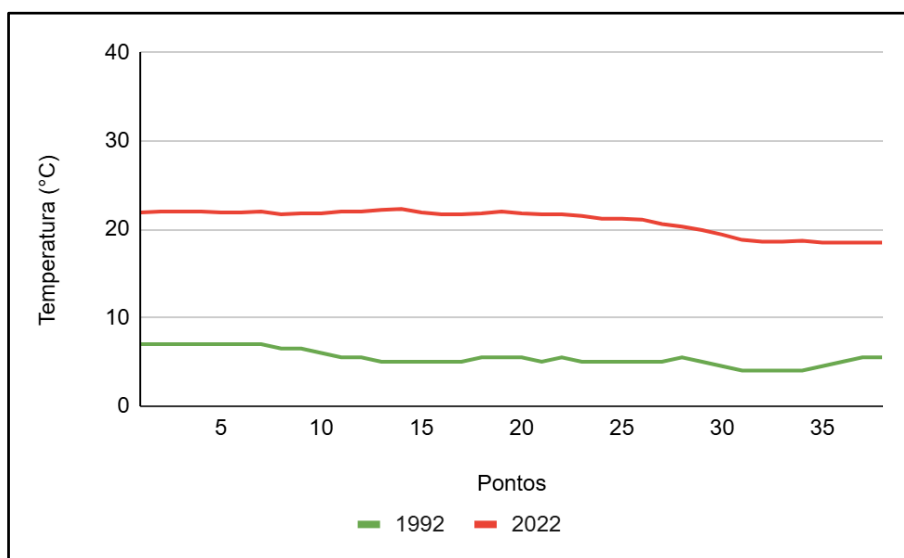
Gráfico 4 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 1 – Bairro Boa Vista – Verão de 1992 e 2022



Fonte: A autora.

De modo semelhante, observa-se no Gráfico 5 um aumento consistente da TST, ainda que de menor magnitude. Os valores, que em 1992 variam entre 4°C e 7°C, passaram a oscilar entre 18,5°C e 22,2°C em 2022, o que indica uma redução na capacidade de resfriamento superficial. Mesmo durante o período de menor radiação solar, as áreas urbanas mantêm temperaturas elevadas, evidenciando maior retenção de calor e menos variabilidade térmica sazonal.

Gráfico 5 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 1 – Bairro Boa Vista – Inverno de 1992 e 2022



Fonte: A autora.

A diminuição da amplitude térmica, que passou de aproximadamente 16,7°C em 1992 para cerca de 6°C em 2022, demonstra o enfraquecimento do controle térmico natural anteriormente exercido pela vegetação. Esse comportamento confirma a tendência de aquecimento permanente da superfície urbana e a formação de microclimas locais mais quentes e homogêneos, características típicas do fenômeno de ilha de calor urbana.

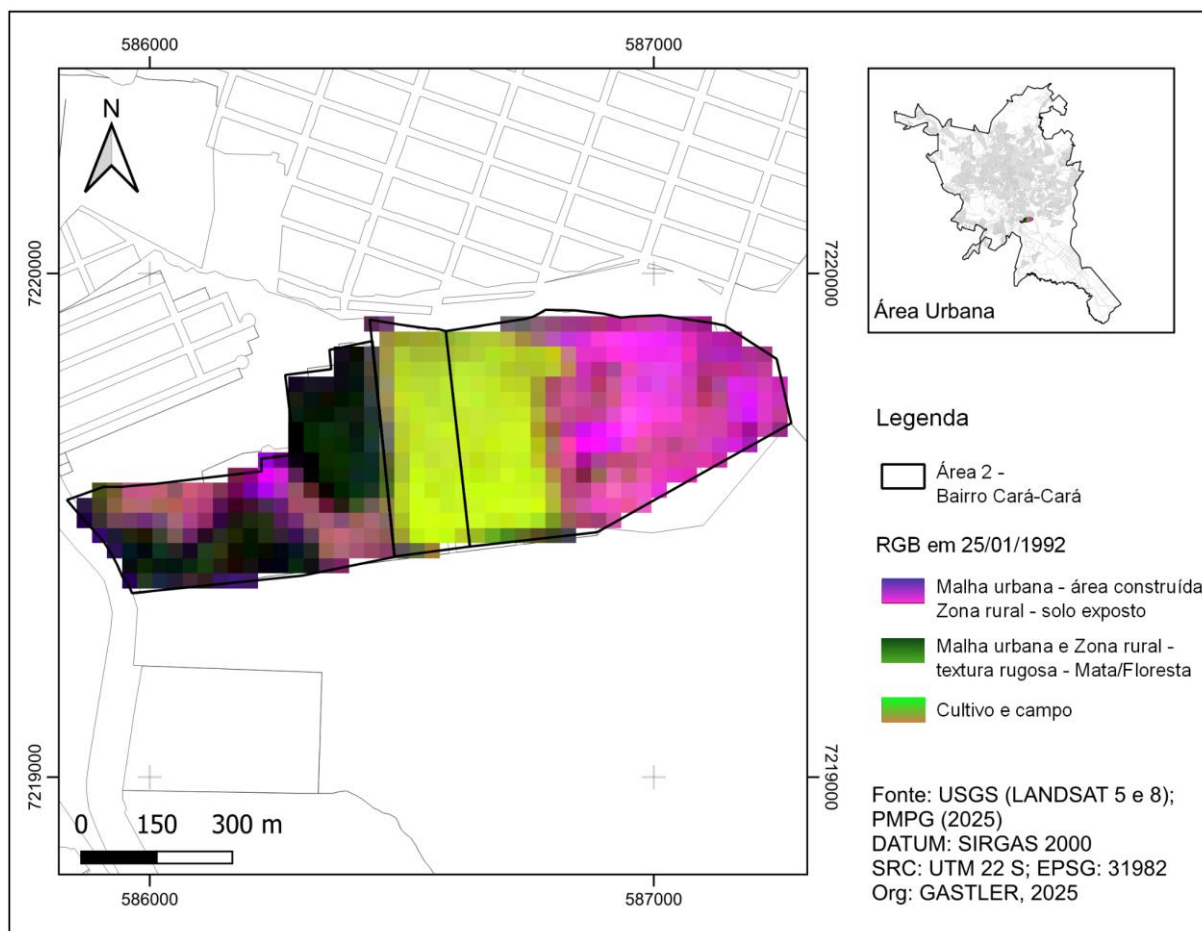
Assim, conclui-se que, ao longo das três décadas analisadas, a evolução urbana da Área 1 promoveu uma alteração profunda na dinâmica térmica superficial, marcada pelo aumento das temperaturas, pela homogeneização espacial dos valores da TST e pela atenuação das variações sazonais, consolidando o impacto da urbanização sobre o microclima local.

4.2 ÁREA 2 – BAIRRO CARÁ-CARÁ

A Área 2 localiza-se no bairro Cará-Cará, caracterizado por um processo de urbanização recente, impulsionado pela implantação de conjuntos habitacionais vinculados ao antigo programa “Minha Casa Minha Vida” sob responsabilidade da PROLAR. Os loteamentos Jardim Amália I e II foram aprovados em 2009 e o Jardim Ibirapuera em 2011, marcando o início da ocupação formal da área.

Antes desse período, em 1992, a área apresentava características predominantemente rurais, com uso e ocupação do solo voltado para atividades agrícolas e presença de vegetação rasteira, além de porções de solo exposto, conforme apresentado no mapa *RGB* do verão deste ano (Figura 18). A região correspondente ao atual Jardim Ibirapuera exibía uma mancha de vegetação mais densa, possivelmente de mata secundária, que se manteve até meados de 2004.

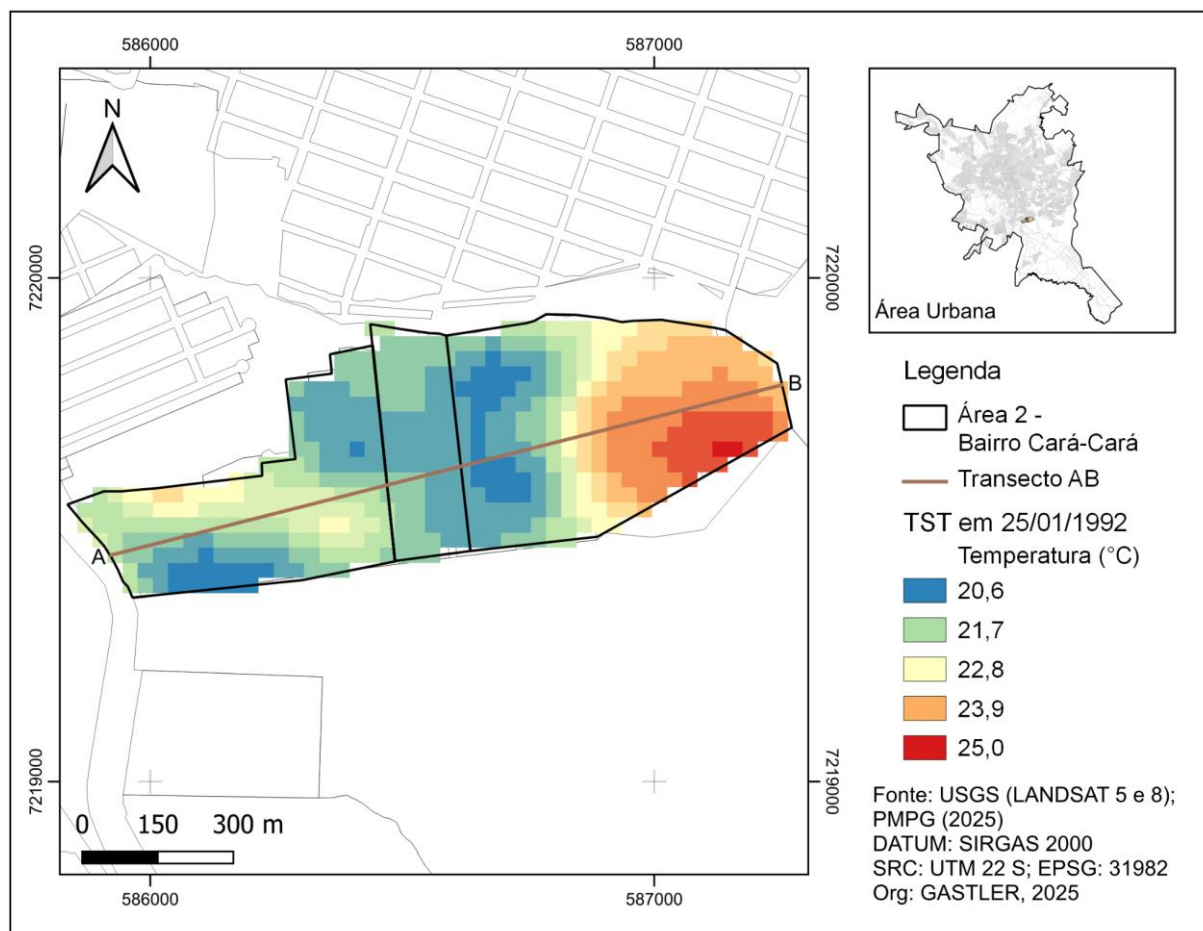
Figura 18 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 1992



Fonte: A autora.

Na Figura 19, correspondente ao verão de 1992, observa-se que a TST apresenta uma elevação térmica moderada nas superfícies expostas, variando de 23,9°C a 25°C na região leste e nordeste, enquanto as menores temperaturas concentram-se na porção central e sudoeste, oscilando entre 20,6°C e 22,8°C, associadas à presença de cobertura verde.

Figura 19 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 1992

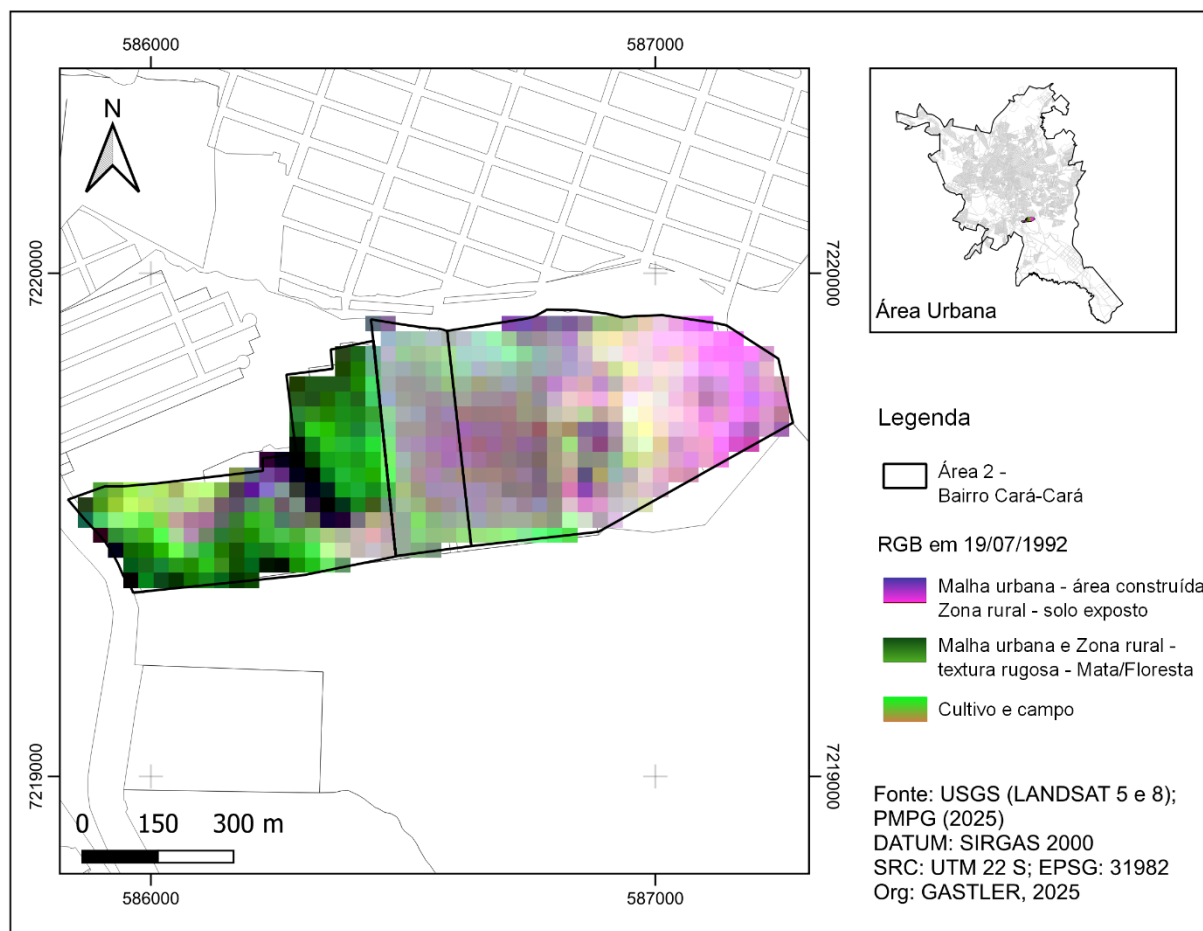


Fonte: A autora.

A comparação entre os mapas *RGB* do inverno (Figura 20) e verão de 1992 (ver Figura 18), evidencia alterações no padrão de uso do solo associadas à rotação de culturas agrícolas. Enquanto no período de verão predominavam áreas de cultivo ativo, especialmente na porção correspondente ao atual Jardim Amália II, no inverno essa mesma área passou a apresentar predominância de solo exposto.

Essa dinâmica sazonal de uso agrícola reflete o caráter ainda rural da paisagem local naquele período, em que a substituição temporária da vegetação cultivada por solo nu resultava em variações térmicas pontuais observadas nas TSTs sazonais.

Figura 20 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 1992

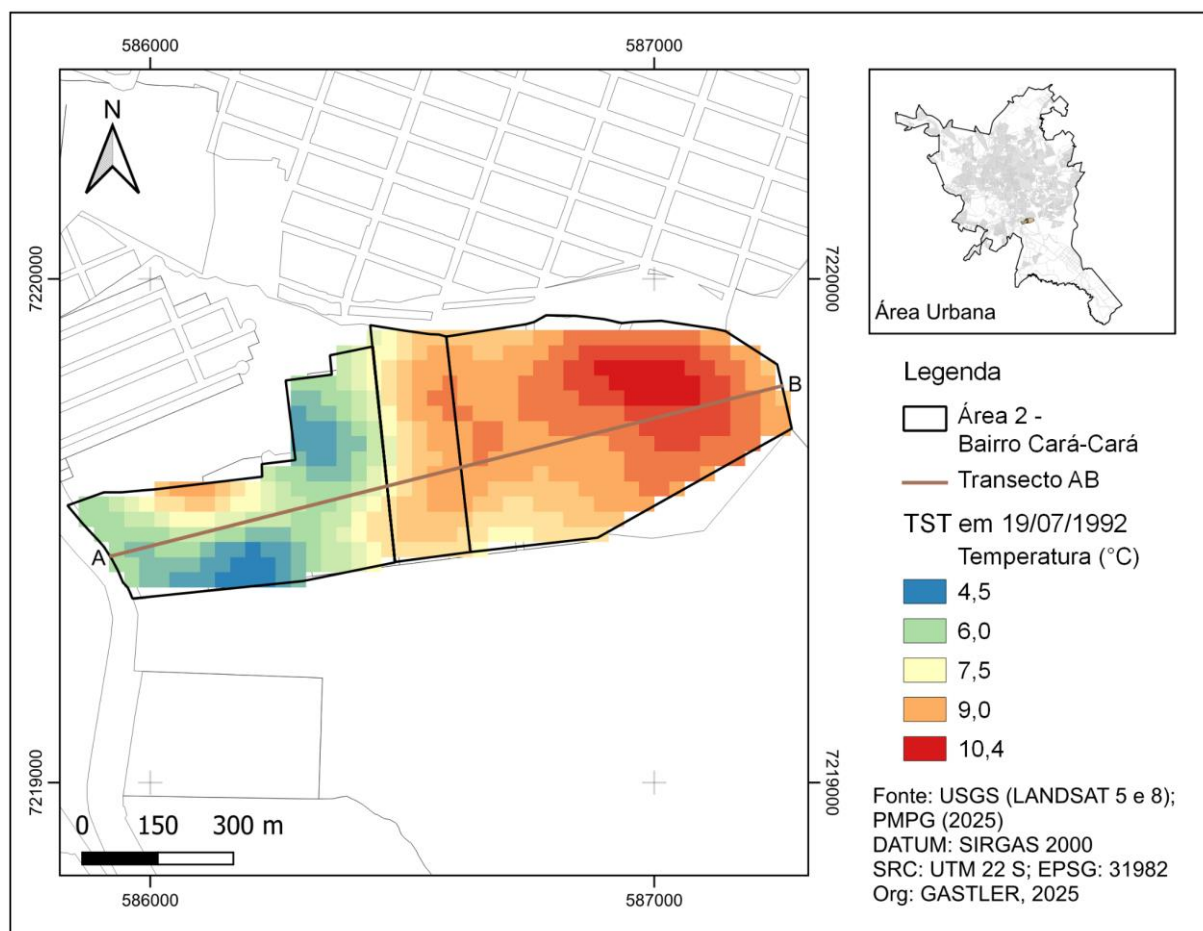


Fonte: A autora.

A variação observada nos mapas *RGB* reflete-se também no comportamento térmico registrado no mesmo período. No inverno de 1992, as temperaturas diminuíram acentuadamente em relação ao período de verão, oscilando entre 4,5°C e 10,4°C, como mostra a Figura 21. Nota-se que os valores mais elevados se concentram na porção leste e nordeste, correspondente ao atual Jardim Amália I, onde predominava o solo exposto, enquanto as menores temperaturas ocorreram nas regiões oeste e sudoeste, associadas à presença de vegetação e áreas de cultivo.

Essa variação reflete a forte influência das condições sazonais sobre o balanço térmico da superfície, demonstrando que, mesmo em locais sem cobertura vegetal densa, as baixas temperaturas típicas do inverno contribuem para o resfriamento generalizado da área.

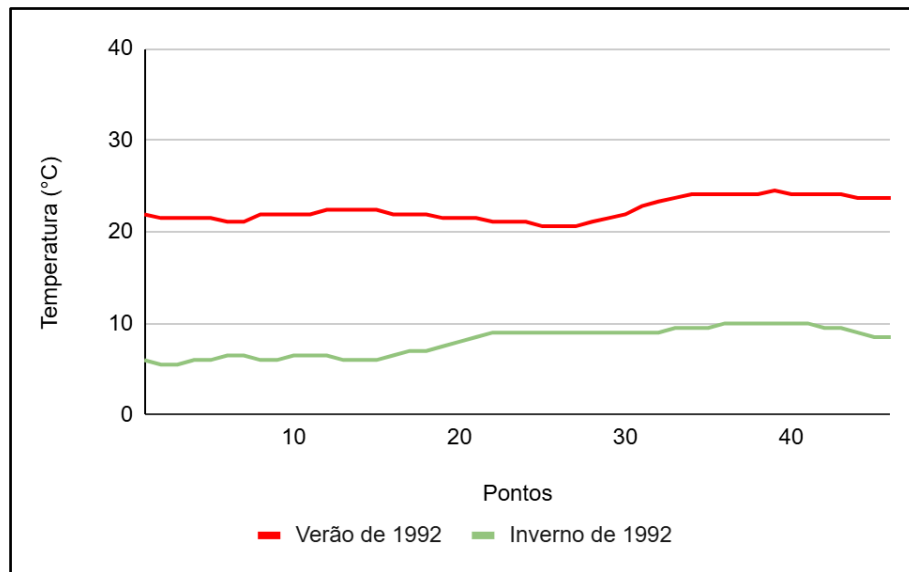
Figura 21 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 1992



Fonte: A autora.

O Gráfico 6, evidencia uma clara influência da sazonalidade sobre o comportamento térmico da superfície no verão e inverno de 1992. A diferença de aproximadamente 15°C entre os períodos demonstra o controle exercido pelas condições naturais sobre o balanço térmico, com destaque para o papel da cobertura vegetal na regulação da temperatura e na atenuação das variações sazonais.

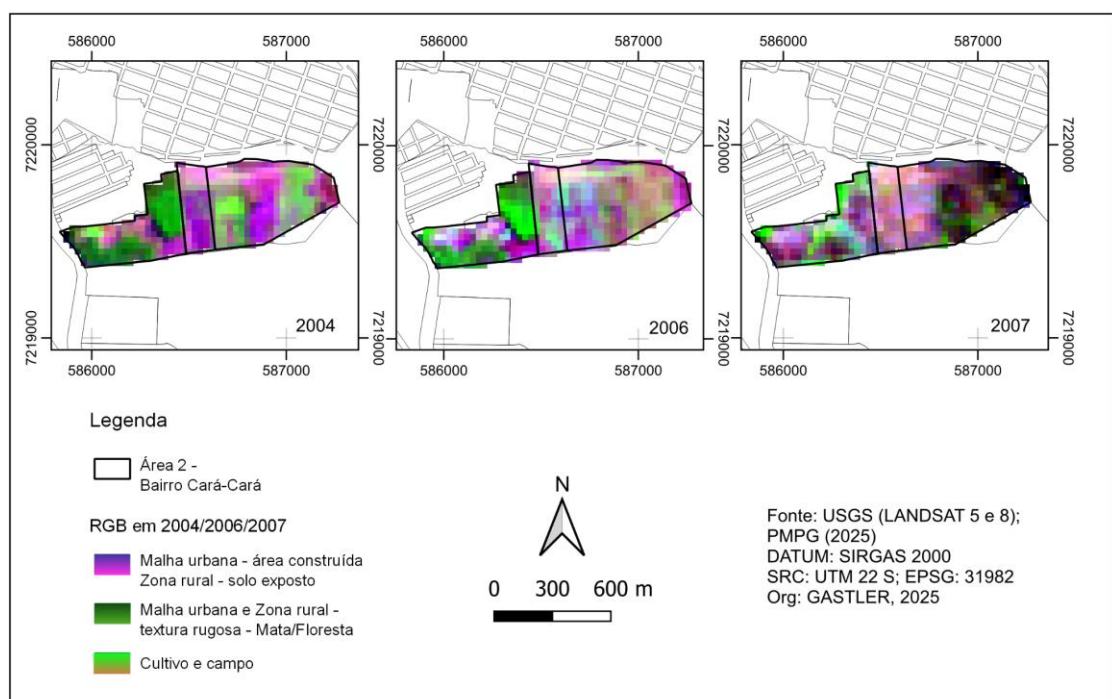
Gráfico 6 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão e Inverno de 1992



Fonte: A autora.

Entre os anos de 2004 e 2006, observa-se o surgimento de uma área de reflorestamento onde atualmente corresponde a porção norte do Jardim Ibirapuera, posteriormente suprimida em 2007, possivelmente para o preparo do terreno destinado à urbanização (Figura 22).

Figura 22 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Evolução do uso e ocupação do solo entre 2004, 2006 e 2007

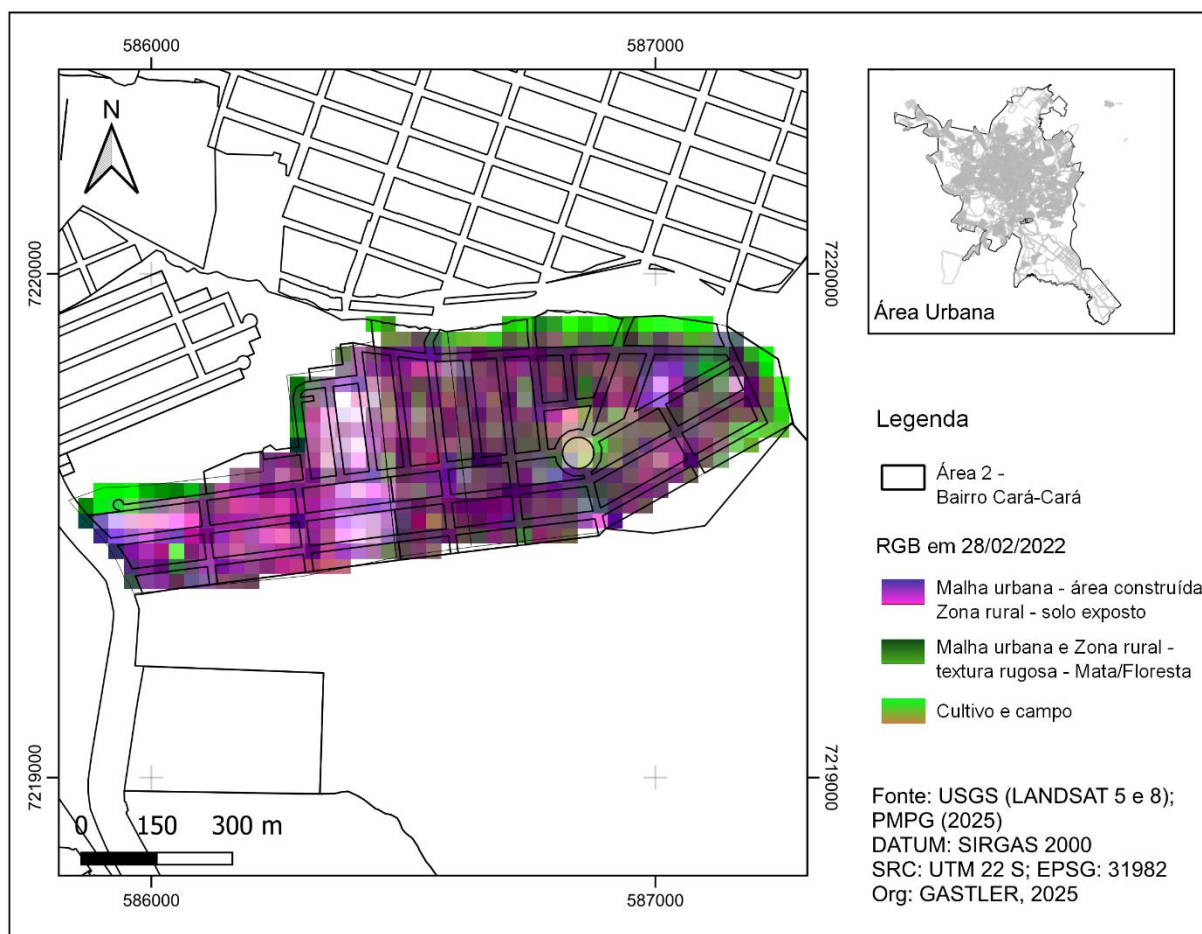


Fonte: A autora.

Com a Área 2 totalmente urbanizada em 2022, resultado da consolidação dos loteamentos Jardim Amália I e II e Jardim Ibirapuera, o padrão térmico local sofreu alterações expressivas em relação a 1992. A substituição das áreas de cultivo e vegetação por residências e vias pavimentadas modificou o comportamento da TST.

Esse contraste torna-se evidente ao comparar o *RGB* do verão de 1992 (Figura 20), quando predominavam áreas verdes, com o *RGB* do verão de 2022 (Figura 23), caracterizado pela intensa urbanização e pelo aumento das superfícies impermeáveis.

Figura 23 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 2022



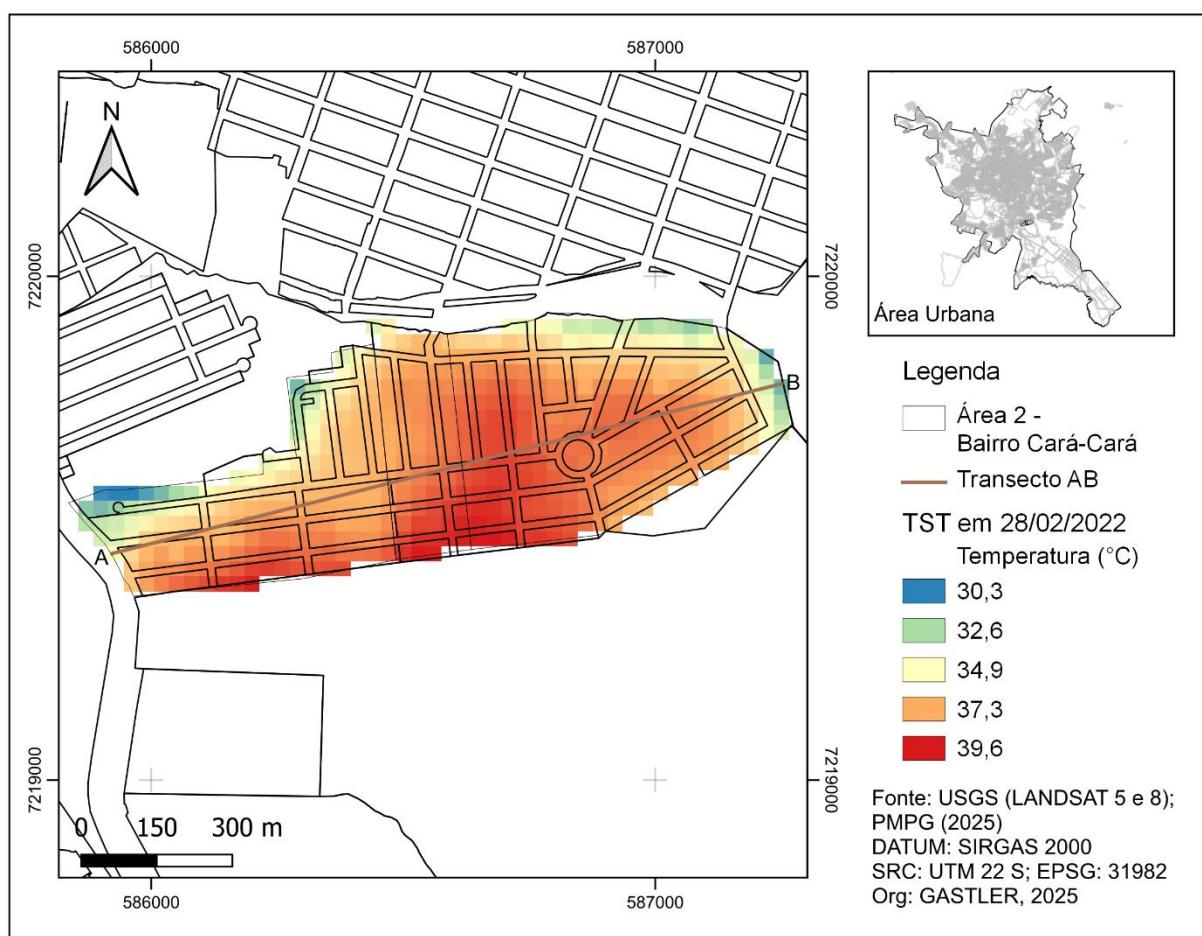
Fonte: A autora.

No verão de 2022, a TST variou entre 30,3°C e 39,6°C, com picos térmicos concentrados nas áreas centrais e nas direções leste e sudoeste, correspondentes aos loteamentos Jardim Amália I e II e Jardim Ibirapuera. Em contraste, as menores

temperaturas ocorreram em pequenos trechos remanescentes de vegetação, especialmente ao longo do limite leste e noroeste, próximos aos mesmos loteamentos.

A Figura 24 evidencia essa diferença, que chega a 9,3°C em relação ao pico máximo, confirmando que, mesmo em áreas urbanizadas, a cobertura vegetal exerce papel crucial na modulação térmica, atuando como um elemento de resfriamento frente aos picos de calor.

Figura 24 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 2022

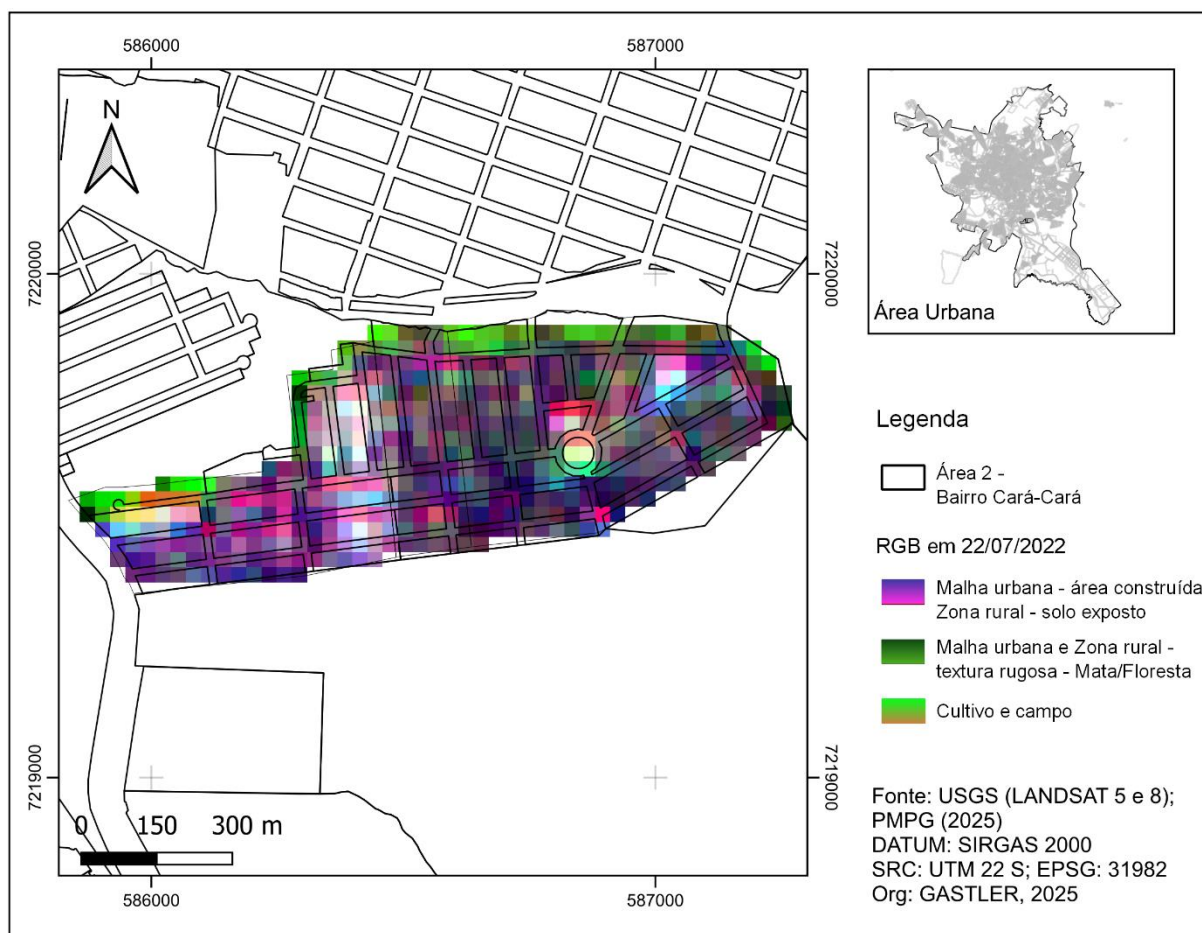


Fonte: A autora.

Ao comparar o mapa *RGB* do inverno (Figura 275) com o verão (ver Figura 23) demonstra-se a ausência de diferenças significativas no uso e ocupação do solo entre as estações. Visualmente, observa-se que a área já se encontrava completamente urbanizada, com a predominância de residências e vias pavimentadas em praticamente toda a sua extensão. As poucas áreas de vegetação remanescente mantiveram-se inalteradas, localizadas principalmente nas bordas noroeste e leste. Essa estabilidade visual reforça que, em 2022, as variações térmicas observadas

entre as estações decorrem principalmente de fatores sazonais e não de alterações no tipo de cobertura do solo, como ocorria nas décadas anteriores.

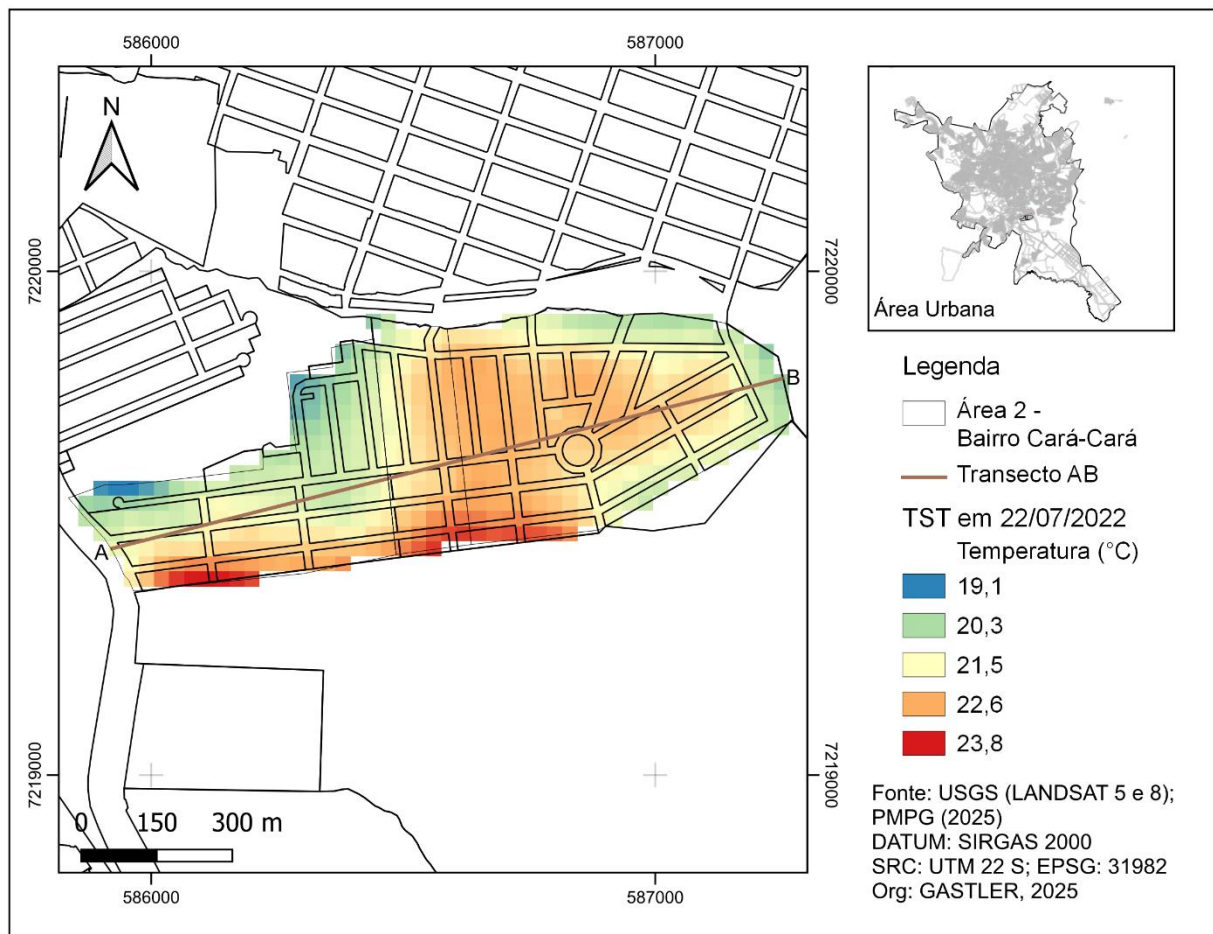
Figura 25 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 2022



Fonte: A autora.

No inverno de 2022, a TST apresentou valores relativamente elevados para o período, variando entre 19,1°C na extremidade noroeste e 23,8°C no limite sul da área (Figura 26). Esse comportamento indica que as superfícies urbanizadas passaram a reter calor de forma contínua, reduzindo a influência direta da sazonalidade sobre a temperatura da superfície.

Figura 26 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 2022

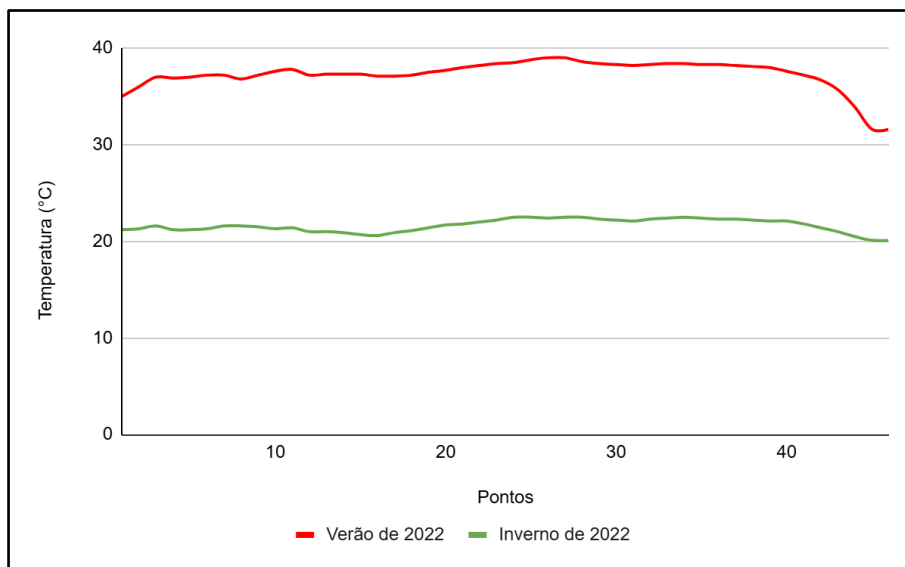


Fonte: A autora.

O Gráfico 7 revela que, em 2022, a diferença média entre as temperaturas de verão e inverno tornou-se significativamente menor, cerca de 16°C, refletindo o impacto direto da urbanização sobre a dinâmica térmica local. Esse comportamento indica que as superfícies impermeáveis passaram a reter calor de forma contínua, reduzindo a influência das condições sazonais sobre a TST.

Mesmo no período de menor radiação solar, as temperaturas permaneceram consideravelmente mais elevadas, demonstrando um aquecimento persistente e característico de ambientes urbanos densamente construídos.

Gráfico 7 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão e Inverno de 2022

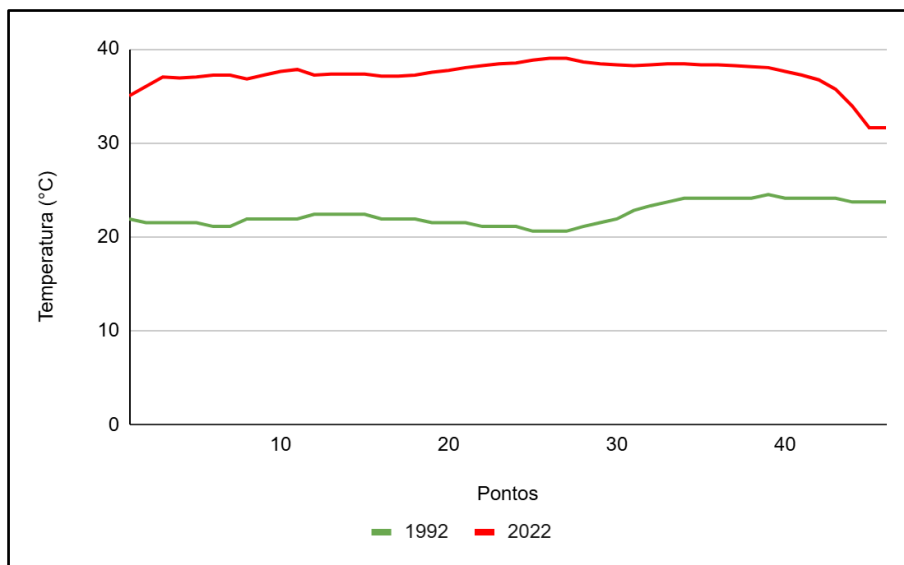


Fonte: A autora.

A análise em conjunto dos anos de 1992 e 2022 revelou um aumento expressivo da TST na Área 2, estando diretamente associado à intensificação do processo de urbanização. De acordo com os dados obtidos a partir dos transectos térmicos, o acréscimo das temperaturas foi superior a 10°C em ambas as estações analisadas, evidenciando uma tendência clara de aquecimento superficial ao longo das três décadas.

No período de verão, a TST, que em 1992 variava de 20,6°C a 25°C, atingiu valores entre 31,6°C e 39°C em 2022, refletindo o impacto direto da substituição das áreas de cultivo e vegetação por loteamentos residenciais e pavimentação. Esse aumento térmico pode ser observado no Gráfico 8, que expressa o fortalecimento do efeito de aquecimento local, decorrente da ampliação das superfícies impermeáveis e da redução da cobertura verde.

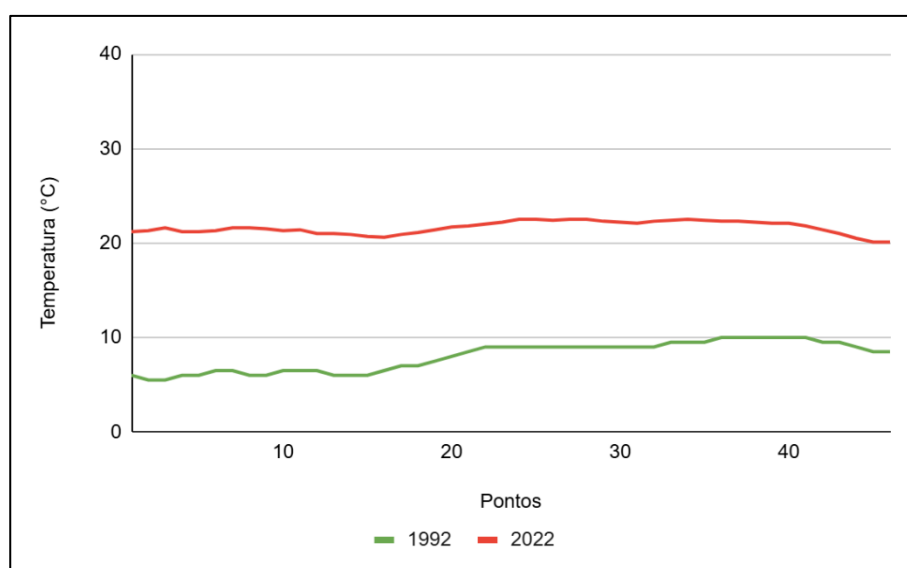
Gráfico 8 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Verão de 1992 e 2022



Fonte: A autora.

De forma similar, no inverno, as temperaturas mínimas passaram de 4,5°C em 1992 para 19,1°C em 2022, e as máximas de 10,4°C em 1992 para 23,8°C, configurando um aumento 13,4°C nas máximas e de 14,6°C nas mínimas, conforme ilustrado o Gráfico 9. Esse aquecimento, mesmo em um período de menor incidência solar, evidencia a perda da capacidade de resfriamento natural e a retenção de calor nas áreas urbanizadas.

Gráfico 9 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Cará-Cará – Inverno de 1992 e 2022



Fonte: A autora.

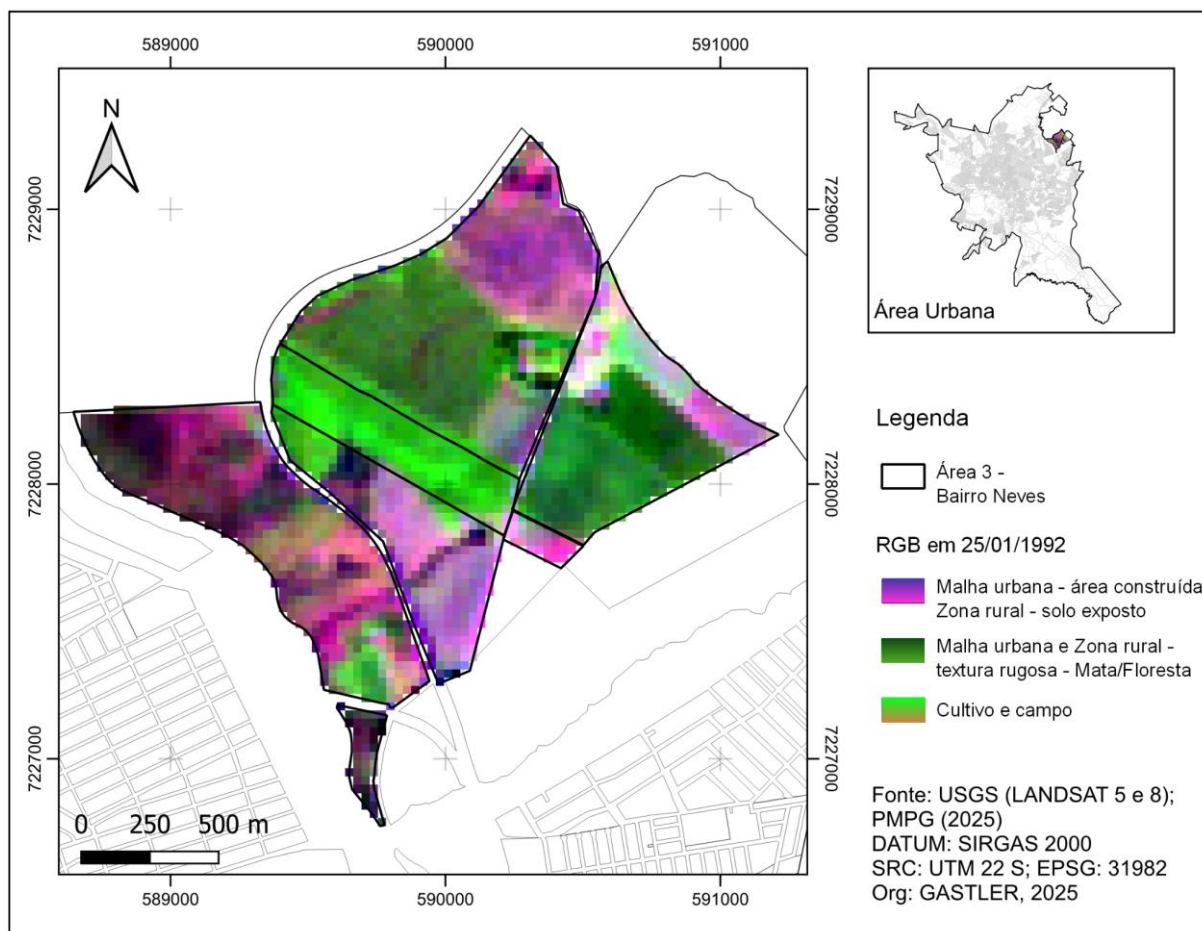
Esses resultados revelam que, ao longo das três décadas analisadas, a Área 2 passou de um ambiente térmico regulado por fatores naturais e sazonais para um sistema predominantemente controlado por elementos urbanos. O aumento consistente da TST e a redução da amplitude térmica sazonal confirmam o avanço do processo de aquecimento superficial, evidenciando o impacto direto da urbanização e reforçando a importância da cobertura vegetal residual na modulação térmica e no resfriamento das áreas urbanizadas.

4.3 ÁREA 3 – BAIRRO NEVES

A Área 3 está localizada na porção nordeste do município de Ponta Grossa, no bairro Neves, que nas últimas décadas passou por um processo de expansão urbana progressiva. Esse processo intensificou-se especialmente a partir dos anos 2000, com a implementação de loteamentos como Lagoa Dourada I e II, Residencial Londres, Jardim Panamá, Costa Rica, Jardim das Flores e Bairro Novo, que transformaram a configuração do uso e ocupação do solo na região.

Na análise das imagens *RGB* do verão de 1992, observa-se na Figura 27, a predominância de áreas de solo exposto, especialmente nas porções norte, sul e oeste, enquanto as regiões correspondentes aos atuais loteamentos Jardim Costa Rica, Jardim Panamá, Jardim das Flores e porções do Jardim Londres e Lagoa Dourada II eram cobertas área de cultivo, o que resultava em superfícies termicamente mais equilibradas.

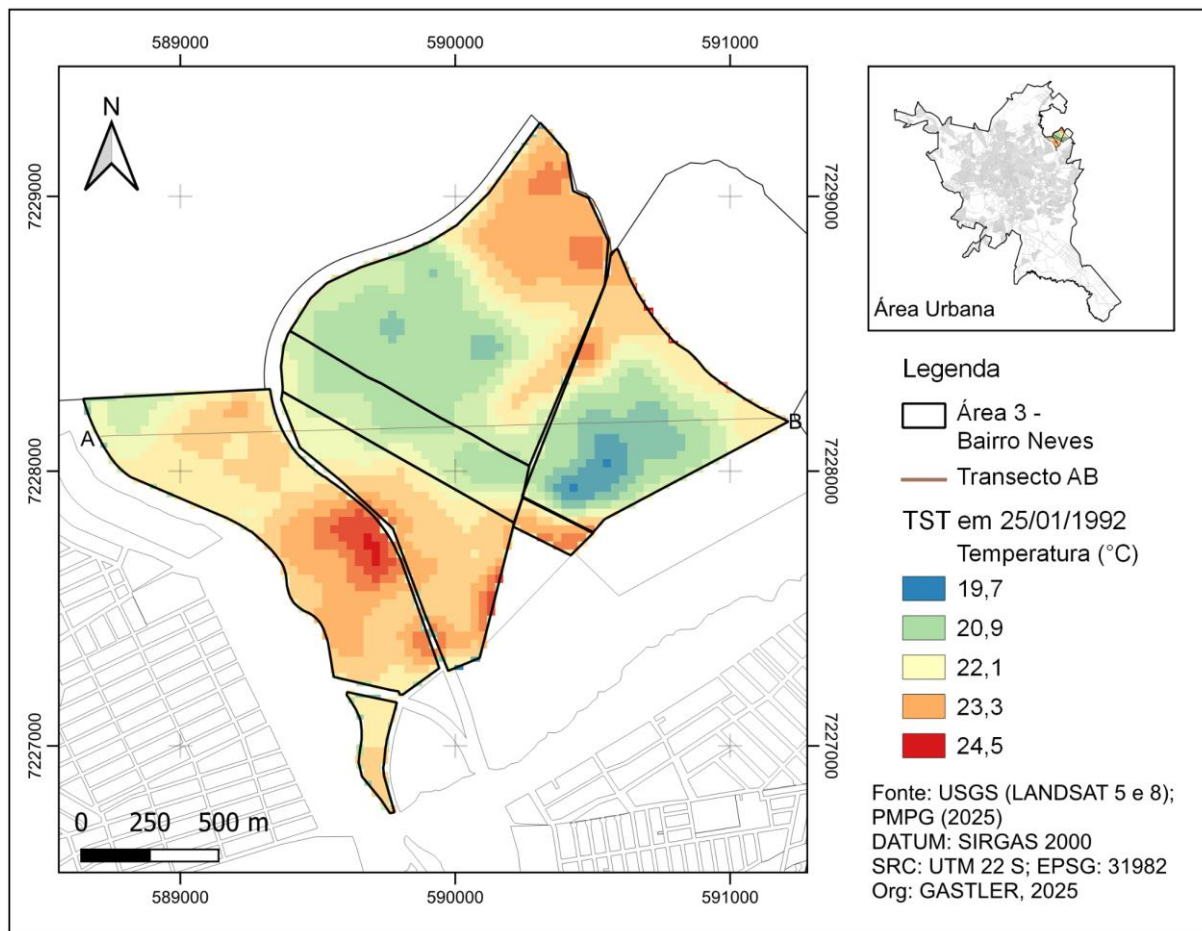
Figura 27 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 1992



Fonte: A autora.

Na Figura 28, referente ao verão de 1992, observa-se que a TST apresentou valores moderados, variando entre 19,7°C e 24,5°C, com leve aumento nas porções norte, sul e sudoeste, onde predomina o solo exposto. Enquanto as menores temperaturas foram registradas nas áreas vegetadas e de cultivo, especialmente nos trechos correspondentes aos atuais Jardim das Flores, Jardim Costa Rica e Jardim Panamá, oscilando entre 19,7°C e 20,9°C.

Figura 28 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 1992

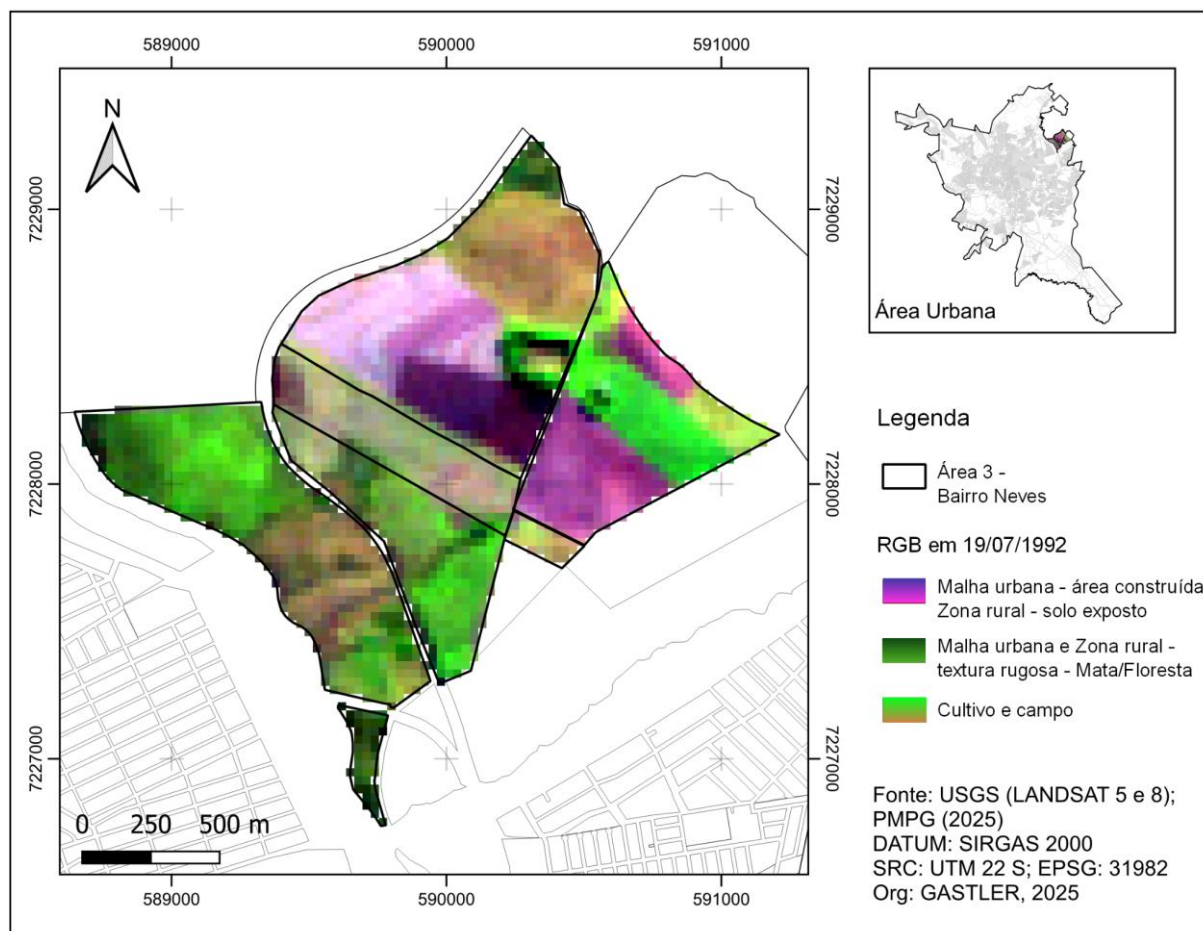


Fonte: A autora.

Esse comportamento térmico reflete a influência direta de coberturas vegetadas atuando como reguladoras da temperatura, sendo as superfícies naturais determinantes para a manutenção de valores térmicos amenos durante o período de maior radiação solar.

A comparação entre o RGB de inverno do mesmo ano (Figura 29) evidencia alterações no padrão de uso do solo, associados à rotação de culturas sazonais. Durante o inverno, as áreas anteriormente expostas no verão passaram a apresentar cobertura vegetal, o que contribuiu para a redução das temperaturas superficiais. Essa alternância entre cultivo e solo exposto era característica de um espaço ainda rural, onde as variações de uso agrícola refletiam diretamente sobre o comportamento térmico da superfície.

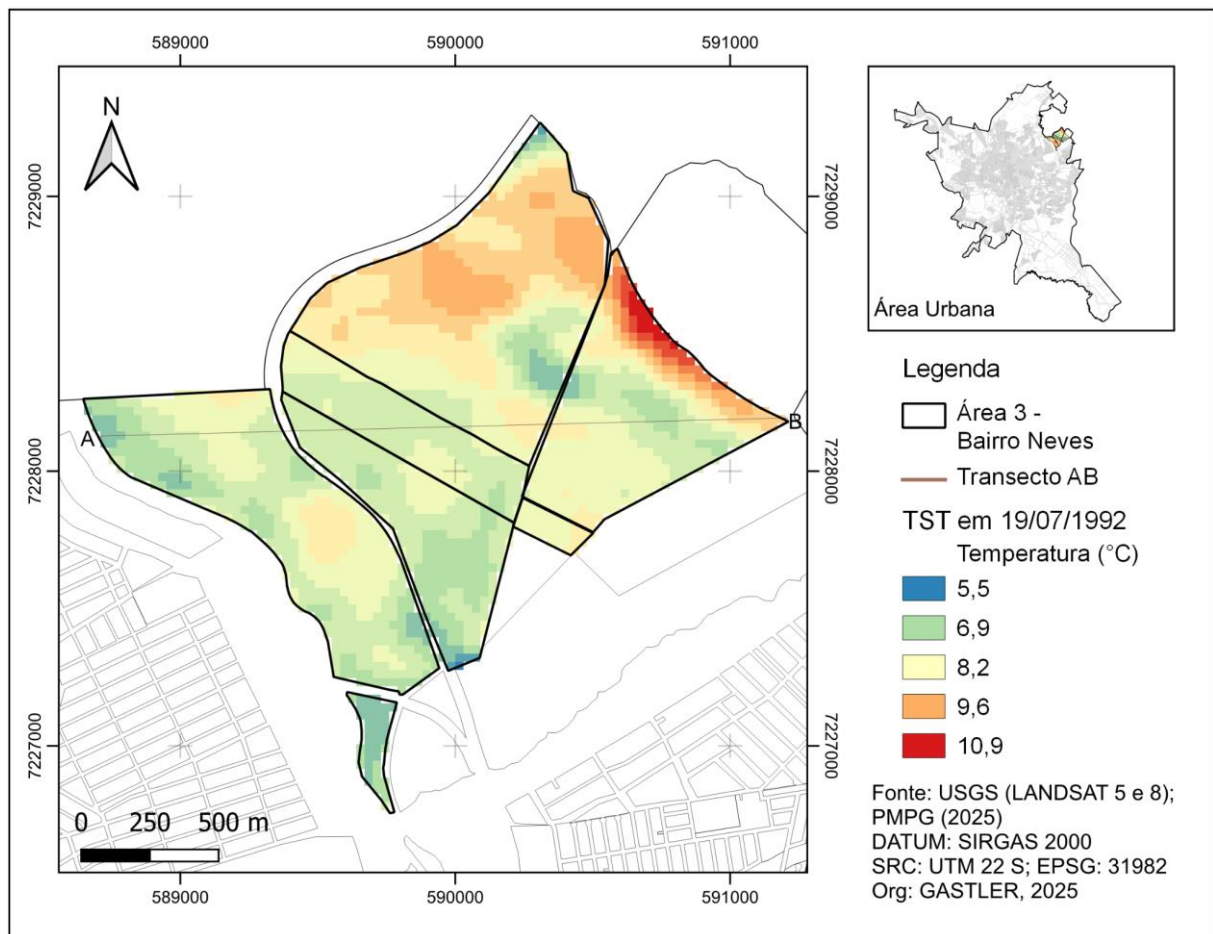
Figura 29 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 1992



Fonte: A autora

A Figura 30 confirma essa relação entre a cobertura agrícola e a TST. Observa-se uma queda generalizada das temperaturas superficiais, variando entre 5,5°C e 6,9°C, nas porções oeste, sudoeste e sul da área, correspondente às zonas de cultivo ativo. Em contrapartida, os valores mais elevados, entre 9,6°C e 10,9°C, concentram-se nas regiões norte e leste, dominadas por solo exposto que, na estação anterior, era ocupado por cultivo (ver Figura 27).

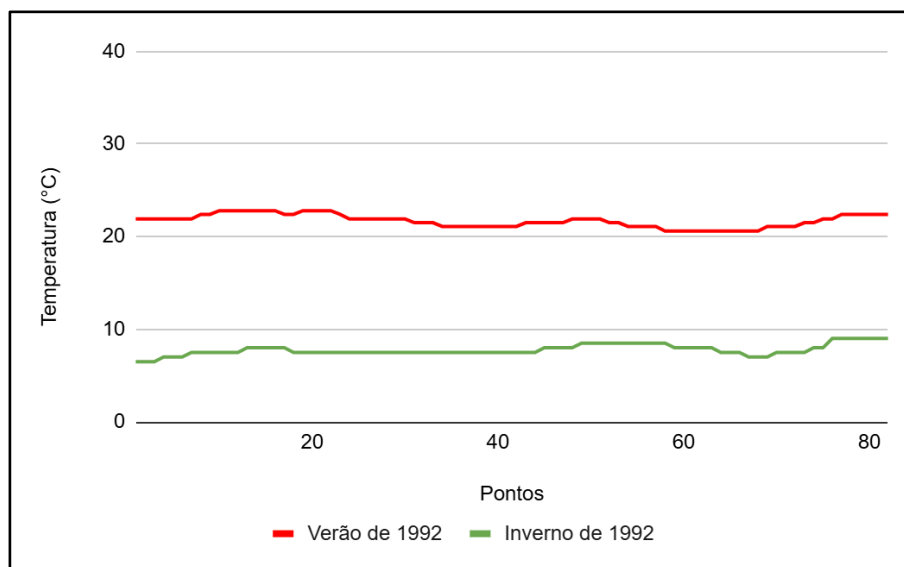
Figura 30 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 1992



Fonte: A autora

A diferença média de aproximadamente 14°C entre o verão e o inverno de 1992 (Gráfico 10) demonstra a influência combinada da sazonalidade e da presença de áreas de cultivo, que contribuíram para o resfriamento da superfície devido à maior umidade do solo e a evapotranspiração, confirmando o controle natural do balanço térmico antes da interferência urbana.

Gráfico 10 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 3 – Bairro Neves – Verão e Inverno de 1992

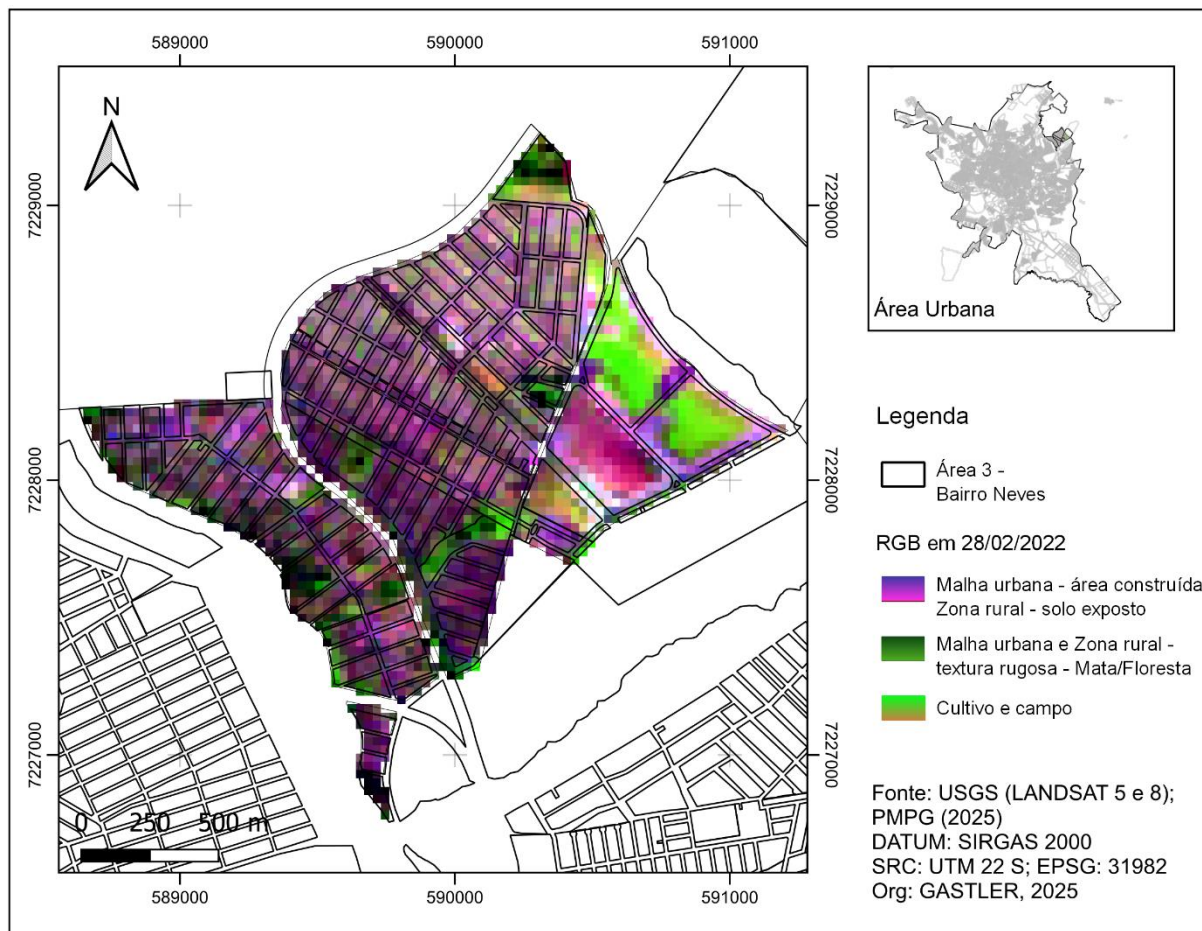


Fonte: A autora

Entre 1992 e 2012, observou-se a alternância entre cultivos temporários e áreas de solo exposto, refletindo a ocupação ainda instável e uso dinâmico do território, que antecederam a consolidação de empreendimentos habitacionais a partir de 2010, como o Residencial Londres e Jardim Panamá, seguido pelo Residencial Costa Rica. Essa transição no uso e ocupação do solo foi determinante para a transformação da paisagem local, resultando na substituição gradual das coberturas vegetais por áreas impermeáveis, o que impactou diretamente o comportamento da superfície ao longo das décadas seguintes.

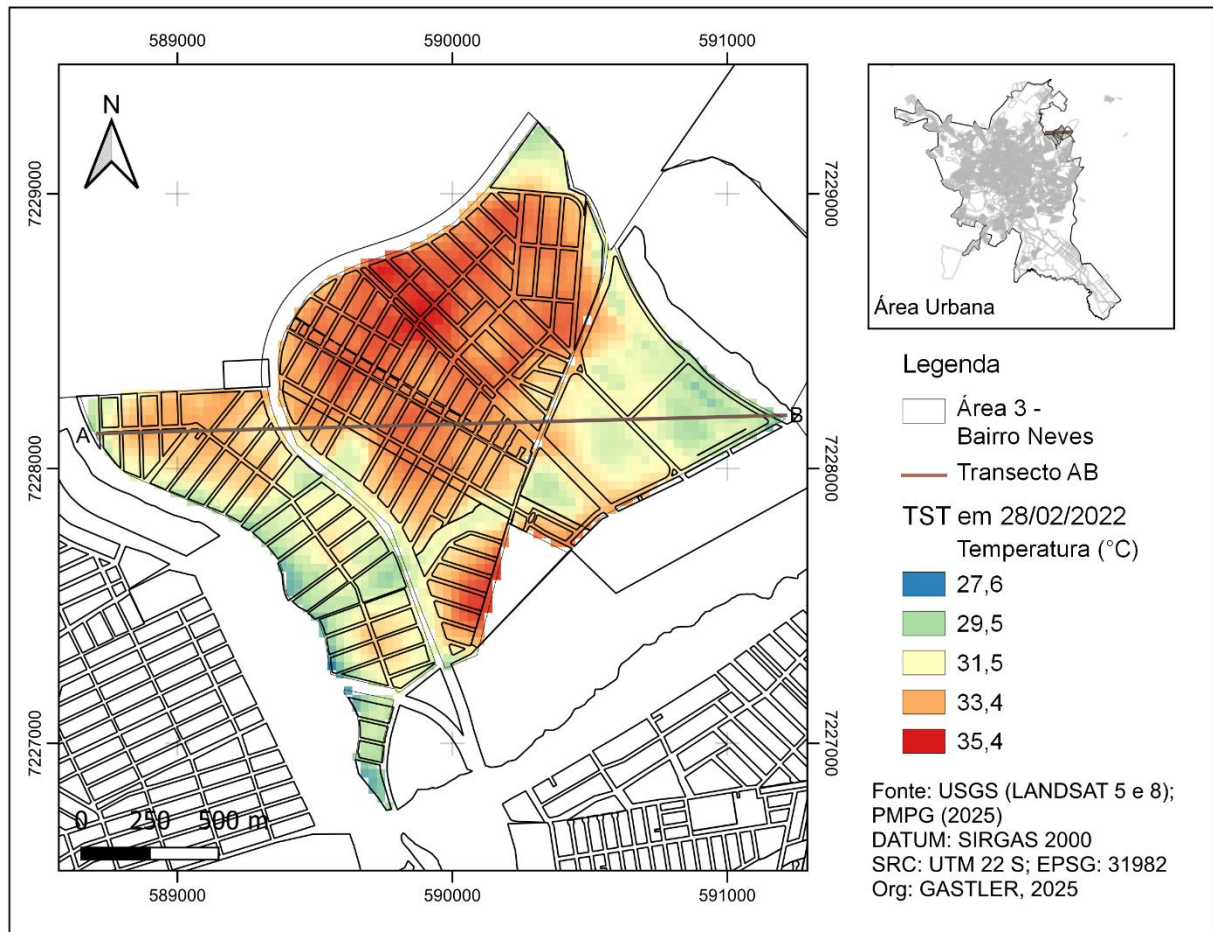
A intensa urbanização da Área 3 em 2022 é claramente visível na Figura 31, com predominância de loteamentos consolidados, vias pavimentadas e redução das áreas vegetadas. Em comparação com o *RGB* de verão de 1992 (ver Figura 27), observa-se que as antigas áreas de cultivo e solo exposto foram substituídas por elementos urbanos, destacando-se os loteamentos Jardim Costa Rica, Jardim Panamá e Residencial Londres, alterando significativamente o padrão de cobertura do solo e impactando diretamente o comportamento térmico da superfície.

Figura 31 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 2022



No verão de 2022, a TST apresentou valores entre 27,6°C e 35,4°, com picos de calor concentrados nas regiões centrais dos loteamentos Jardim Costa Rica e Jardim Panama e ao sul do Residencial Londres, enquanto pequenas porções vegetadas na parte oeste dos Jardins Lagoa dourada I e II e a leste do Jardim das Flores ainda modulam a temperatura, mantendo trechos relativamente mais frescos. A Figura 32 ilustra essa distribuição, evidenciando que, mesmo em um ambiente urbanizado, a vegetação residual continua desempenhando papel regulador sobre o aquecimento local.

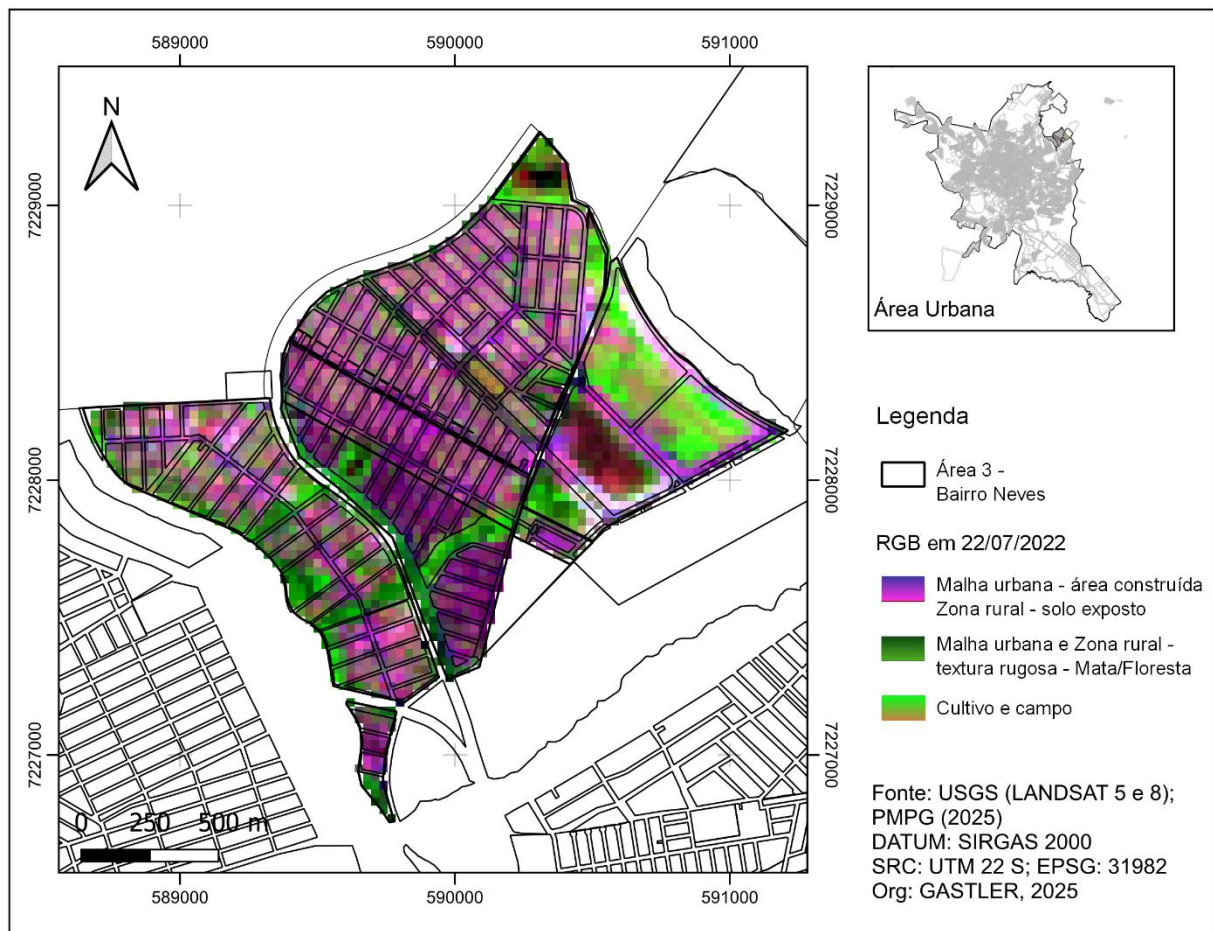
Figura 32 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 2022



Fonte: A autora

No *RGB* do inverno de 2022 (Figura 33) em comparação ao *RGB* do verão do mesmo ano (ver Figura 31), as áreas de vegetação permaneceram praticamente inalteradas entre as estações, concentradas nas mesmas porções do território, com leve incremento apenas na porção oeste durante o inverno, contribuindo para a modulação térmica local.

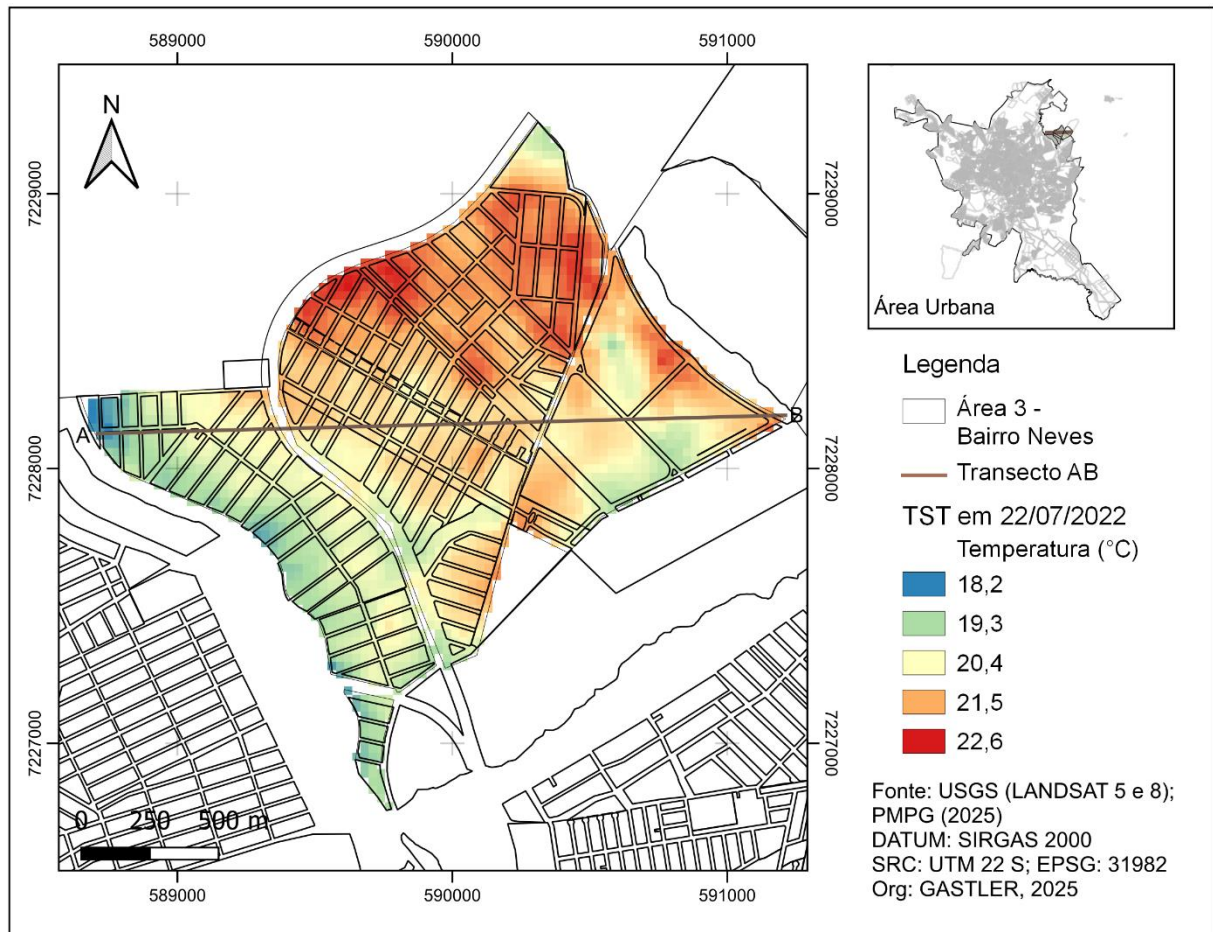
Figura 33 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 2022



Fonte: A autora

O inverno de 2022 mostrou menor contraste térmico na área, com valores variando de 18,2°C a 22,6°C. As áreas com pequenas porções de vegetação e de cultivo residual apresentaram temperaturas levemente inferiores de 4,4°C em comparação às regiões urbanizadas, confirmando a influência contínua da cobertura natural na modulação térmica. A Figura 34 apresenta o mapa de TST de inverno, evidenciando a redução da amplitude sazonal típica da região.

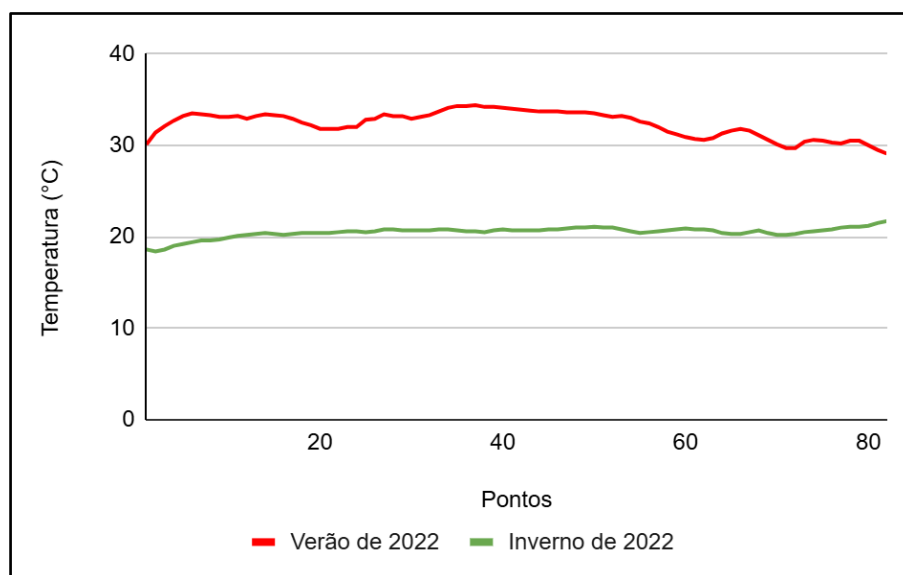
Figura 34 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 2022



Fonte: A autora

O aumento médio de aproximadamente 12°C entre o verão e inverno de 2022, demonstra que a urbanização dessa área elevou significativamente a TST em relação ao controle natural da sazonalidade. O Gráfico 11 demonstra essa diferença, evidenciando o impacto da urbanização sobre o balanço térmico e a importância das coberturas vegetadas no resfriamento da superfície.

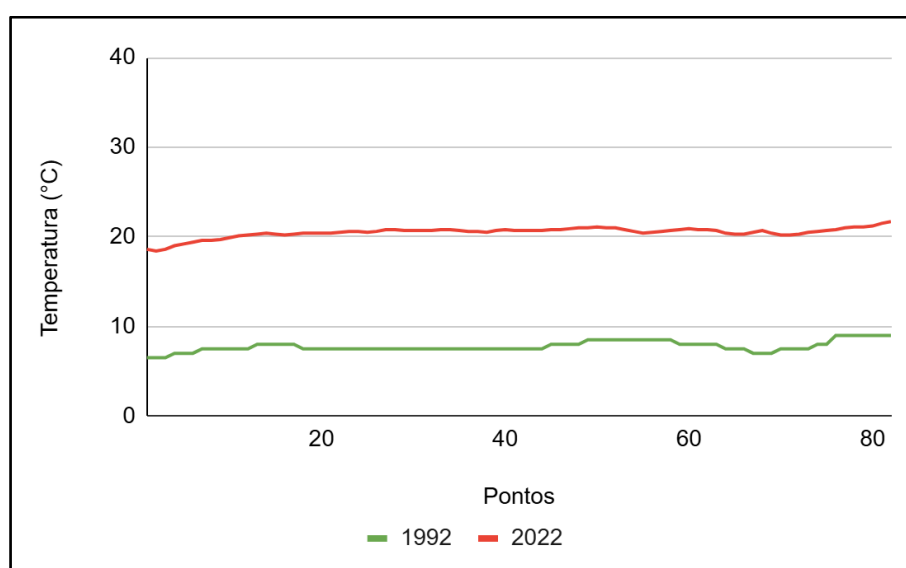
Gráfico 11 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 2 – Bairro Neves – Verão e Inverno de 2022



Fonte: A autora

Ao considerar os dados de 2022 em relação a 1992, percebe-se que o aumento da TST não se restringiu apenas ao verão, mas também ao inverno, evidenciando o impacto contínuo da urbanização sobre a temperatura superficial da Área 3. O Gráfico 12 mostra que, enquanto em 1992 as temperaturas de inverno variavam entre 6,5° e 9°C, em 2022 os valores permaneceram mais elevados, entre 18,4°C e 21,7°C, confirmando um acréscimo médio de 11,5°C entre as estações.

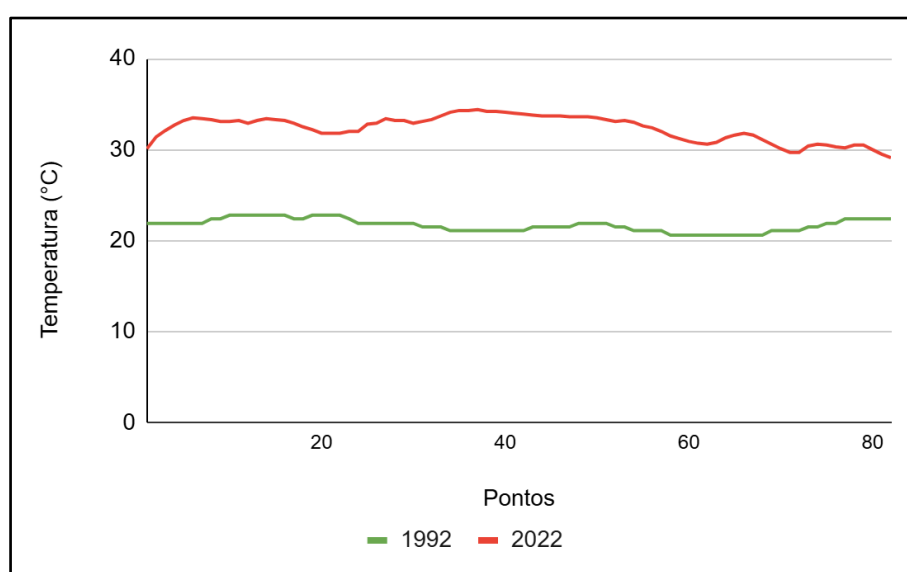
Gráfico 12 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 3 – Bairro Neves – Inverno de 1992 e 2022



Fonte: A autora.

De forma semelhante, o Gráfico 13 demonstra a variação da TST no verão de 1992 e 2022. Enquanto em 1992 as temperaturas oscilavam entre 20,6°C e 22,8°C, em 2022 os valores atingiram entre 30,1°C e 34,4°C, representando um aumento médio de aproximadamente 11°C. Esse acréscimo confirma o impacto direto da expansão urbana sobre o aquecimento superficial, associado à substituição das áreas de cultivo e vegetação por loteamentos residenciais e pavimentação.

Gráfico 13 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 3 – Bairro Neves – Verão de 1992 e 2022



Fonte: A autora.

Estes dados demonstram que a Área 3 passou por uma transformação térmica significativa ao longo dos 30 anos analisados, diretamente associada à expansão urbana. O aumento médio da TST de aproximadamente 11,5°C em todas as estações evidencia o impacto direto da substituição de áreas de cultivo e vegetação por loteamentos residenciais e pavimentação. Apesar de pequenas áreas vegetadas ainda contribuírem para o resfriamento local, a densificação urbana tornou-se o fator dominante na regulação térmica da área.

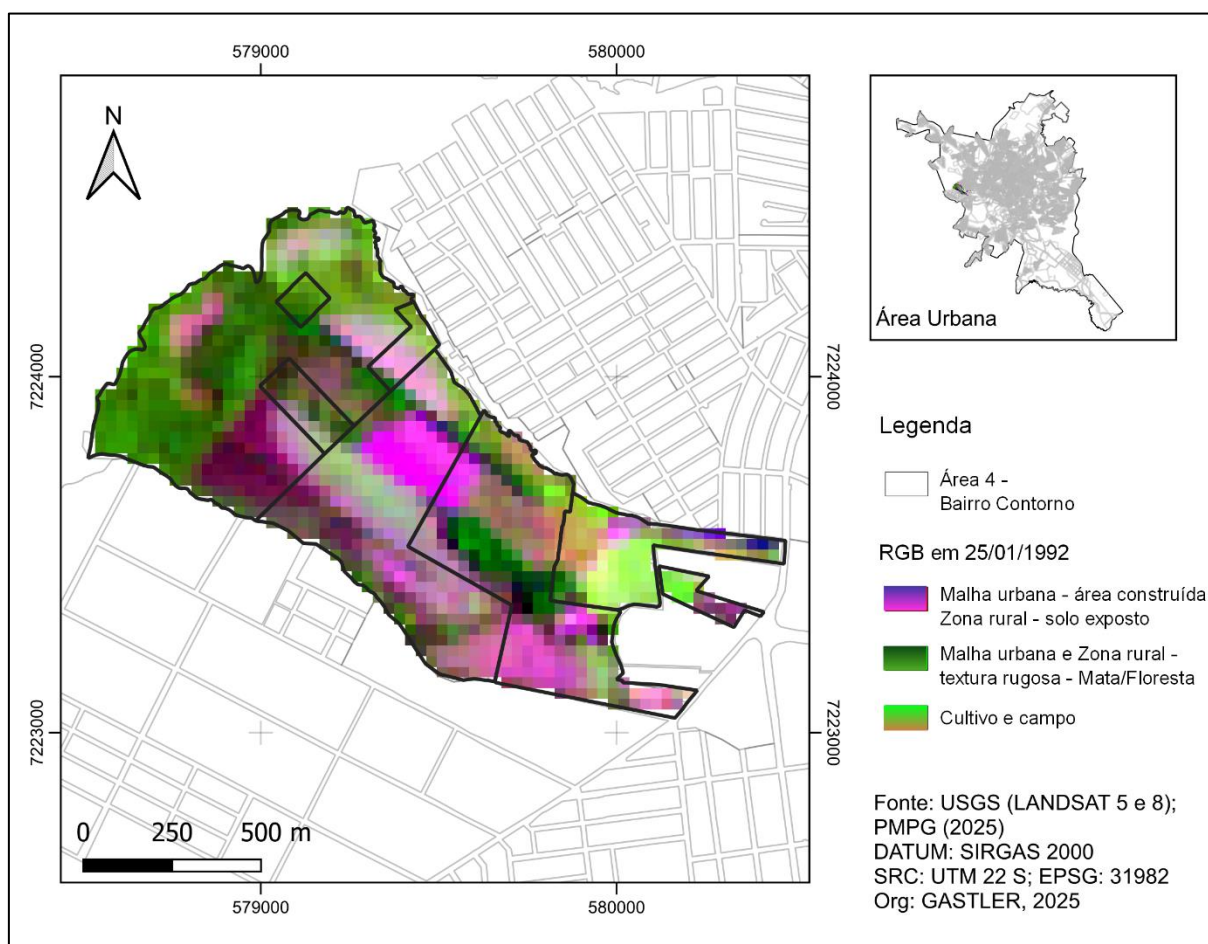
4.4 ÁREA 4 – BAIRRO CONTORNO

A Área 4 está situada no bairro Contorno, na porção sudeste do município de Ponta Grossa, e caracteriza-se pela presença de conjuntos habitacionais como os loteamentos Jardim San Marino, Jardim Dom Bosco, Jardim Panorama, Residencial

Campos Elísios e Vista Santa Paula. Ao longo das últimas décadas, essa região passou por um processo de urbanização progressiva, que consolidou a ocupação e transformou significativamente sua configuração original.

Antes do avanço da urbanização, em 1992, a área apresentava uma configuração predominantemente natural, marcada por extensas manchas de vegetação nas porções noroeste e sudeste, e amplas faixas de solo exposto na região central, correspondentes ao atual loteamento Residencial Campos Elísios e Jardim Panorama. A Figura 35, que apresenta o *RGB* do verão de 1992, ilustra essa condição do uso e ocupação do solo nesse período, evidenciando o predomínio de superfícies naturais antes da consolidação dos loteamentos urbanos.

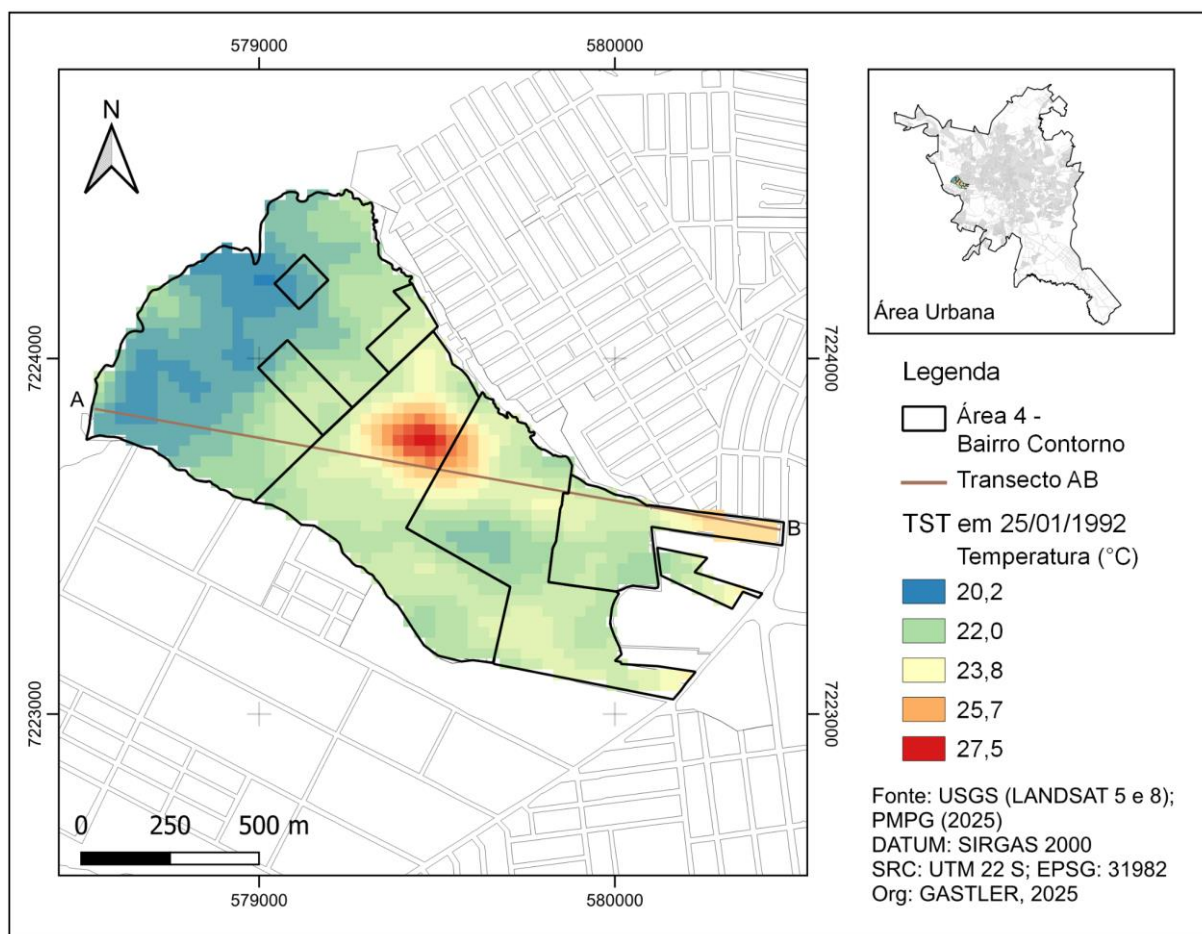
Figura 35 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 4 – Bairro Contorno – Verão de 1992



Fonte: A autora.

Durante o verão de 2022, a TST oscilou 20,6°C a 27,5°C, conforme ilustrado na Figura 36. Observa-se temperaturas mais elevadas nas porções centrais, onde predominava o solo exposto, enquanto áreas vegetadas apresentaram valores mais amenos, especialmente na porção noroeste, correspondente ao atual Jardim Dom Bosco.

Figura 36 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 4 – bairro Contorno – Verão de 1992

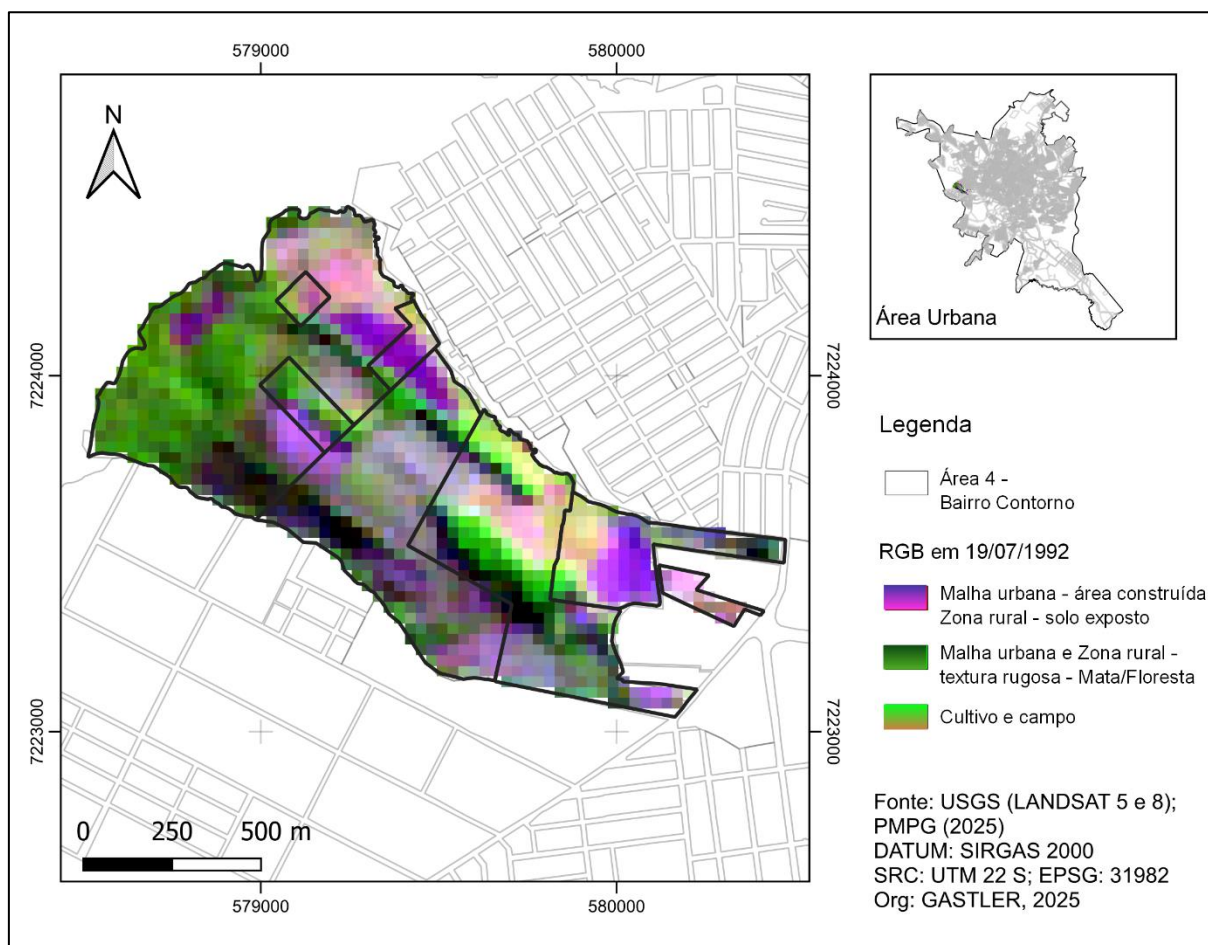


Fonte: A autora.

Na Figura 37, correspondente ao *RGB* do inverno de 1992, nota-se uma leve alteração no padrão de uso e ocupação do solo em relação à estação de verão (ver Figura 35). De modo geral, as coberturas se mantiveram semelhantes entre os períodos, com a permanência das manchas de vegetação nas porções noroeste e sudeste e das áreas de solo exposto na região central. No entanto, observa-se um leve aumento da tonalidade nas áreas de solo nu, indicando intensificação da exposição do solo, especialmente na porção sul da área, correspondente ao atual

Jardim San Marino, e em trechos localizados ao longo do Jardim Dom Bosco e Jardim Panorama. Essa ampliação do solo exposto durante o inverno reflete a redução da cobertura vegetal sazonal e a ausência de cultivo ativo, resultando em superfícies mais secas e suscetíveis ao aquecimento.

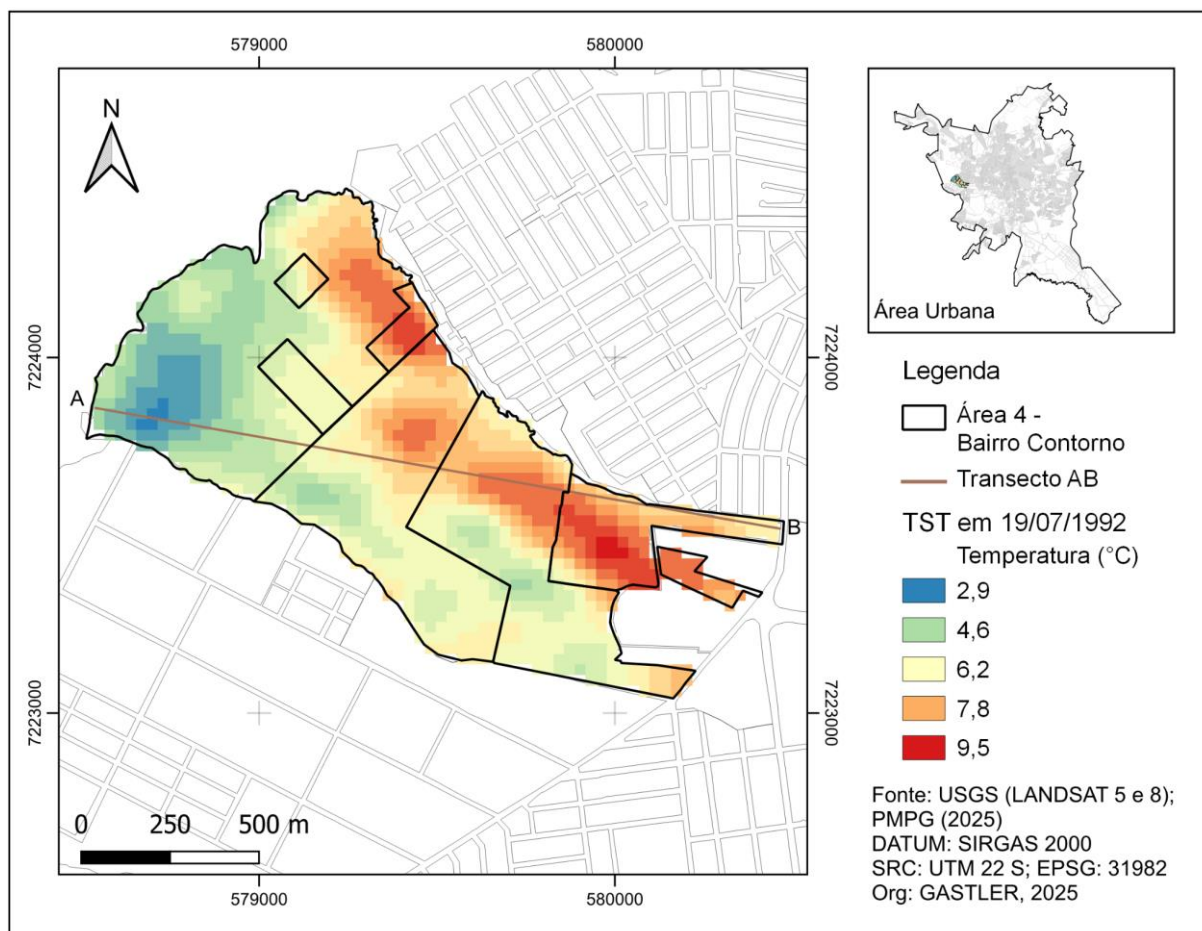
Figura 37 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 4 – Bairro Contorno – Inverno de 1992



Fonte: A autora.

No inverno de 1992, observa-se um resfriamento generalizado, com valores entre 2,9°C e 9,5°C (Figura 38). As menores temperaturas concentram-se nas áreas vegetadas na porção oeste, enquanto os pontos de solo expostos apresentaram elevação térmica pontual, especialmente nas áreas norte e leste.

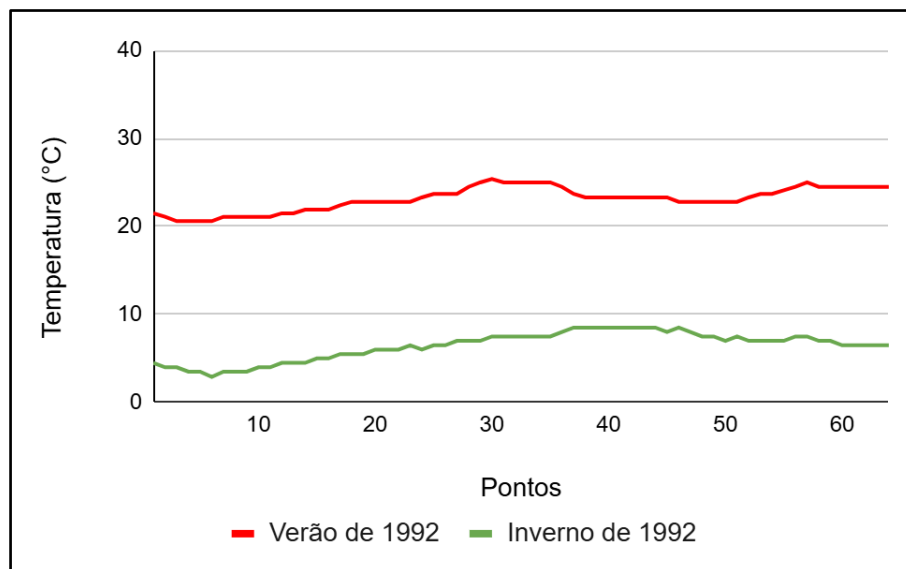
Figura 38 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 4 – bairro Contorno – Inverno de 1992



Fonte: A autora.

O Gráfico 14, demonstra a influência da sazonalidade sobre comportamento térmico da área no verão e inverno de 1992. A diferença média de 21,9°C entre as temperaturas mínimas do inverno e a máximas do verão evidencia o controle exercido pelas condições naturais e pela cobertura vegetal sobre o balanço térmico da superfície.

Gráfico 14 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 4 – Bairro Contorno – Verão e Inverno de 1992

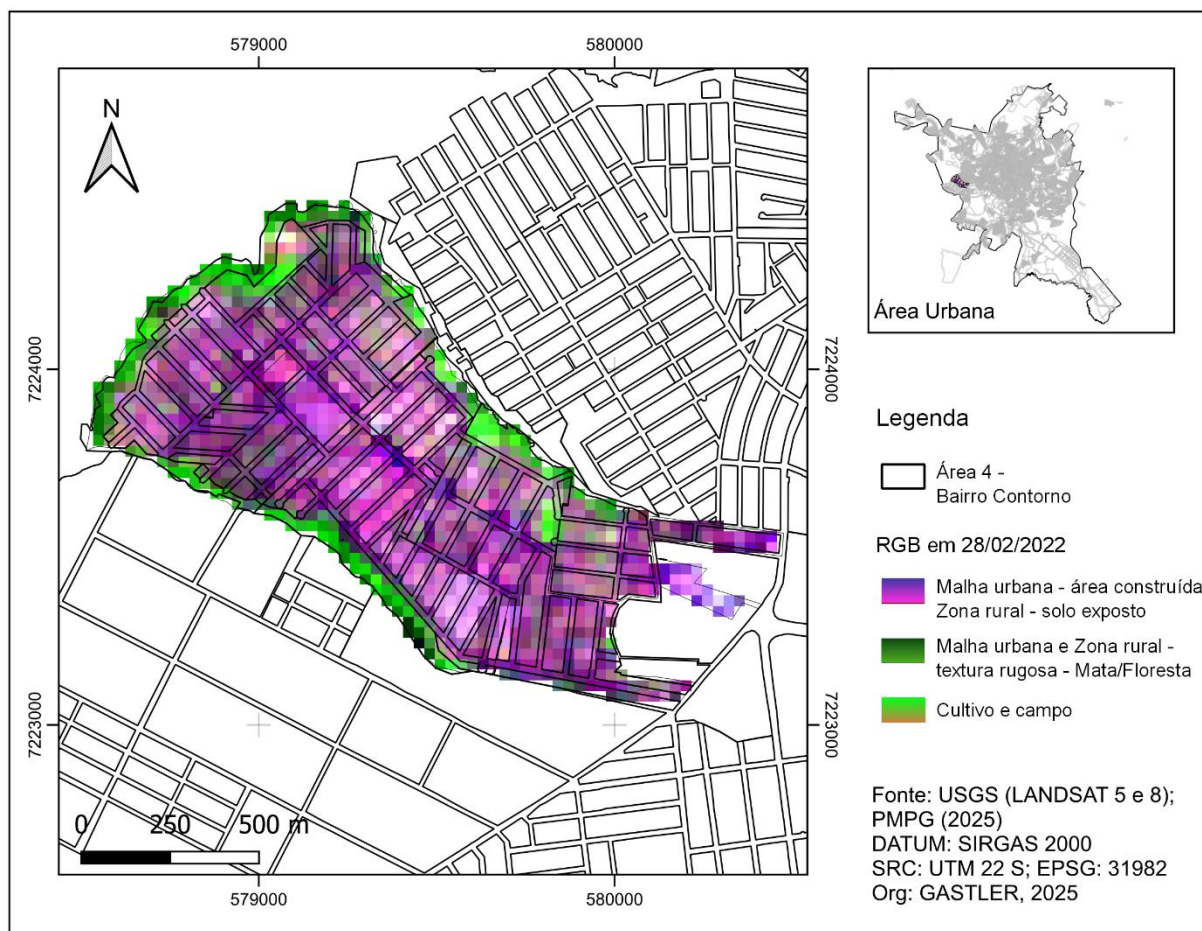


Fonte: A autora.

Entre 1992 e 2013, a área passou por uma fase de transição marcada pela substituição gradual da vegetação por áreas destinadas à urbanização. Os loteamentos Dom Bosco, Panorama e San Marino começaram a consolidar-se no início dos anos 2000, enquanto as áreas correspondentes aos atuais Residencial Campos Elísios e Vista Santa Paula permaneceram predominantemente livres, alternando entre cultivo e solo exposto conforme a sazonalidade. A partir de 2013, observa-se o início da ocupação efetiva nesses últimos loteamentos, consolidando o padrão urbano atual.

Em 2022, o cenário já apresentava alta densidade construtiva e predominância de superfícies impermeáveis, como mostra a Figura 41, evidenciando o avanço da urbanização em relação ao cenário de 1992. A comparação entre o *RGB* do verão de 2022 (Figura 39) com o de 1992 (ver Figura 35) demonstra a substituição das áreas vegetadas e agrícolas, especialmente nas porções correspondentes ao Jardim Dom Bosco e Residencial Campos Elísios, por estruturas urbanas consolidadas, refletindo o impacto direto da urbanização sobre a cobertura do solo alterando o comportamento térmico da superfície local.

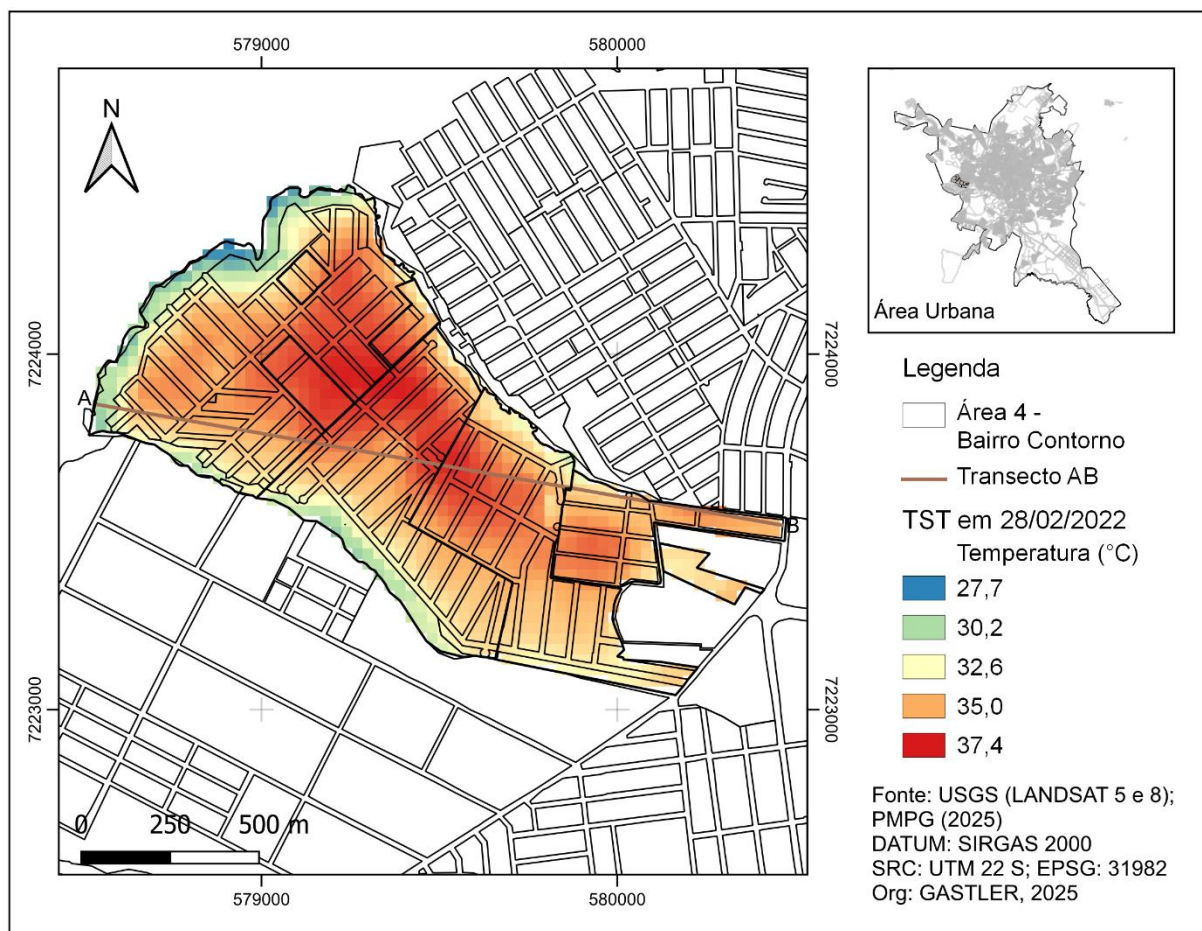
Figura 39 – Mapa de composição colorida (RGB) da Área 4 – Bairro Contorno – Verão de 2022



Fonte: A autora.

A Figura 40, referente ao verão de 2022, mostra que a TST apresentou um aumento expressivo, variando entre 27,7°C e 37,4°C. Os picos de temperatura concentram-se nas áreas centrais, correspondentes aos loteamentos Residencial Campos Elísios e Jardim Panorama, enquanto valores mais baixos foram registrados em pequenas faixas vegetadas localizadas no extremo oeste do Jardim Dom Bosco, destacando o efeito de resfriamento da cobertura natural frente à urbanização predominante.

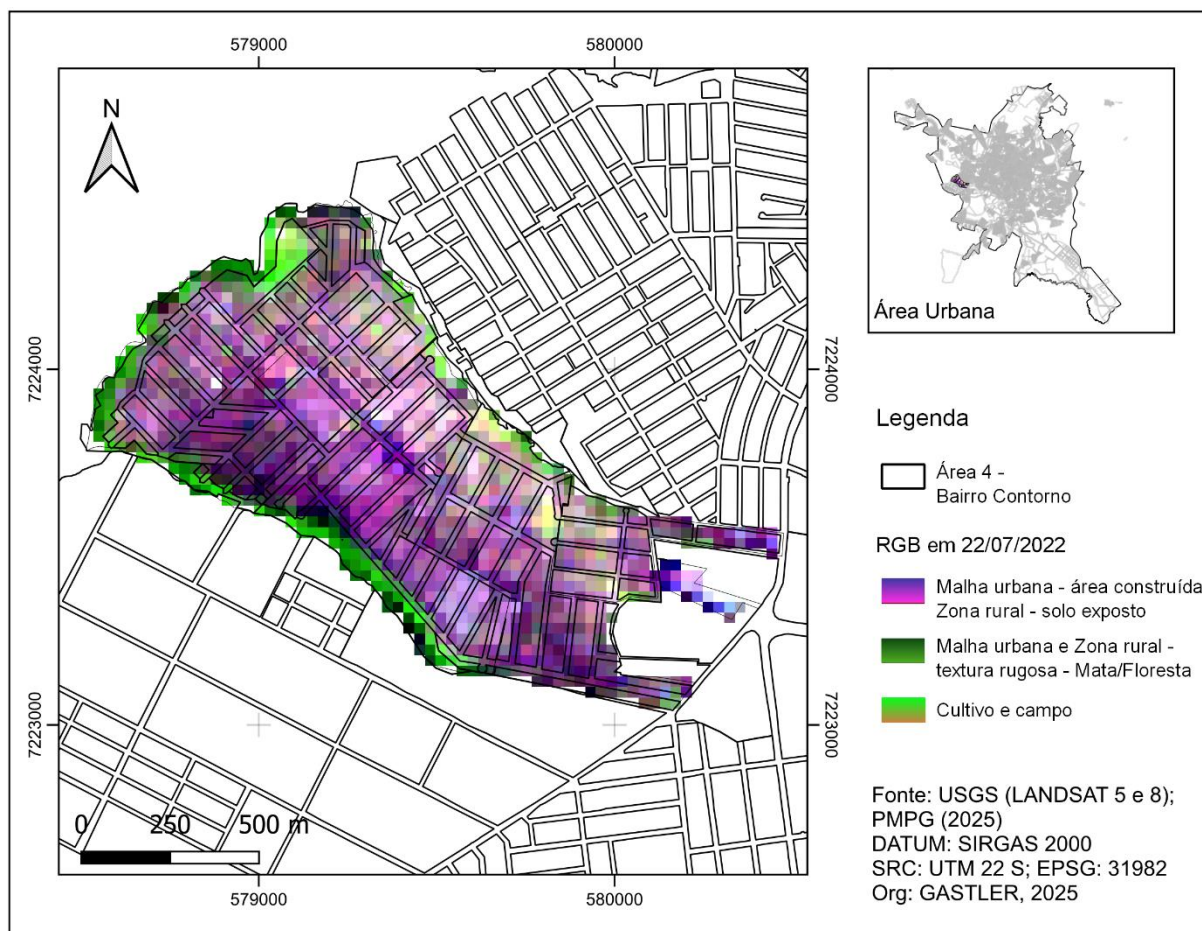
Figura 40 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 4 – bairro Contorno – Verão de 2022



Fonte: A autora.

Ao observar o mapa *RGB* do inverno de 2022 (Figura 41) com o do período anterior (ver Figura 39), observa-se uma estabilidade no uso e ocupação do solo entre as estações, resultado da urbanização consolidada na área. As superfícies edificadas e pavimentadas predominam em quase toda a extensão, limitando variações visuais significativas. Ainda assim, verifica-se uma discreta redução da vegetação ao norte do Jardim San Marino, evidenciando a diminuição dos remanescentes verdes existentes. Essa pequena modificação indica a continuidade do processo de adensamento urbano e reforça o predomínio das superfícies impermeáveis, que contribuem para a uniformização térmica ao longo do ano.

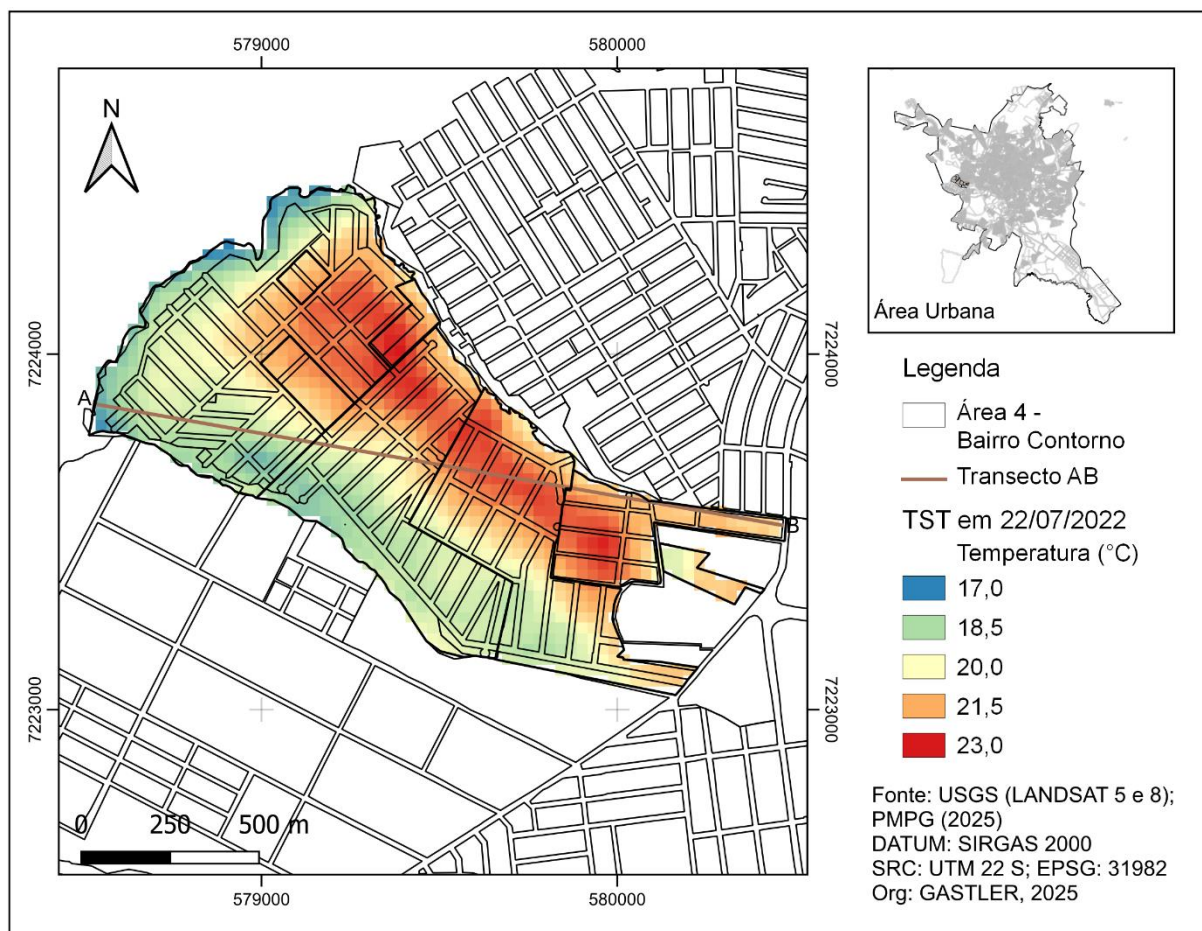
Figura 41 – Mapa de composição colorida (*RGB*) da Área 4 – Bairro Contorno – Inverno de 2022



Fonte: A autora.

O inverno de 2022 revelou que, mesmo em um período de menor radiação solar, as superfícies urbanas mantiveram temperaturas relativamente elevadas, evidenciando a capacidade das superfícies urbanas de reter. Conforme ilustrado na Figura 42, os valores da TST variaram entre 17°C e 23°C, com os maiores valores concentrados nas porções nordeste e leste dos loteamentos Dom Bosco, Jardim Panorama, Campos Elísios e San Marino, enquanto pequenas faixas vegetadas nas extremidades oeste e sul apresentaram temperaturas mais amenas.

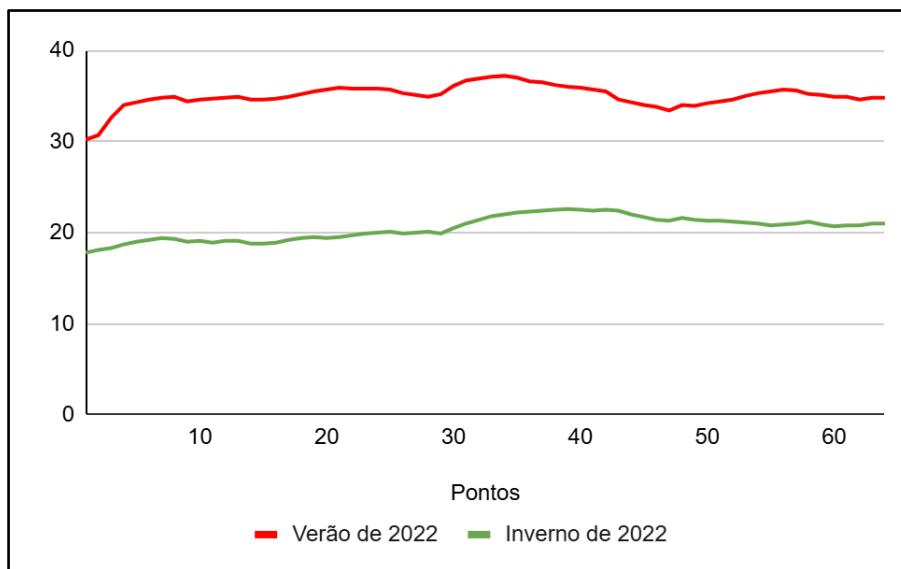
Figura 42 – Mapa da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) da Área 4 – Bairro Contorno – Inverno de 2022



Fonte: A autora

Apesar da ocorrência do inverno e verão, a distribuição da TST em 2022 reflete predominantemente o efeito da ocupação urbana. No Gráfico 15, nota-se que a diferença média entre a máxima do verão e a mínima do inverno é de cerca de 14,7°C, com os maiores valores concentrados nas áreas densamente urbanizadas e os menores nas pequenas manchas de vegetação remanescente.

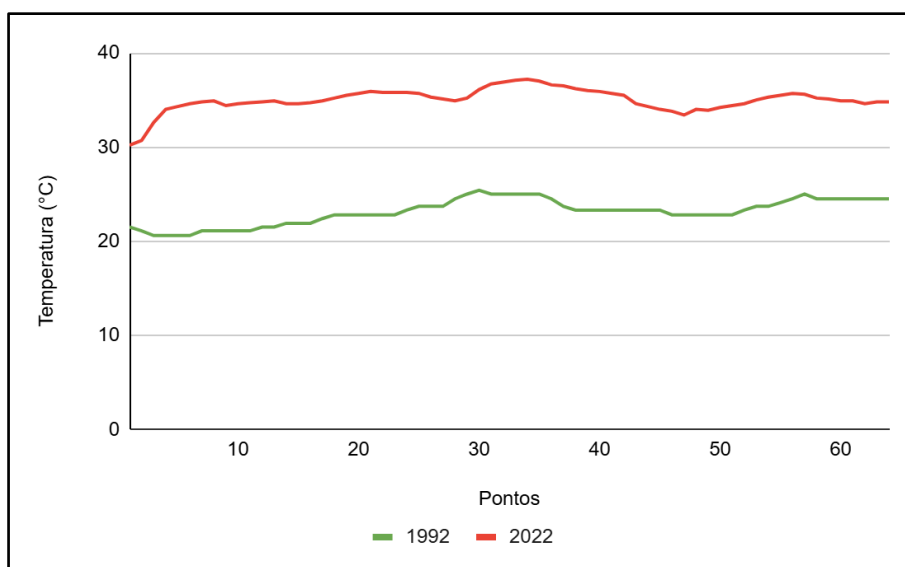
Gráfico 15 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 4 – Bairro Contorno – Verão e Inverno de 2022



Fonte: A autora

A análise comparativa entre 1992 e 2022 evidencia um expressivo aumento da TST na Área 4, tanto no verão quanto no inverno, resultado direto da intensificação da urbanização nas últimas décadas. O Gráfico 16 mostra que, enquanto em 1992 as temperaturas de inverno variavam entre 2,9°C e 8,5°C, em 2022 os valores saltaram para 17,8°C e 22,6°C, o que representa um acréscimo médio de 14°C entre os anos analisado.

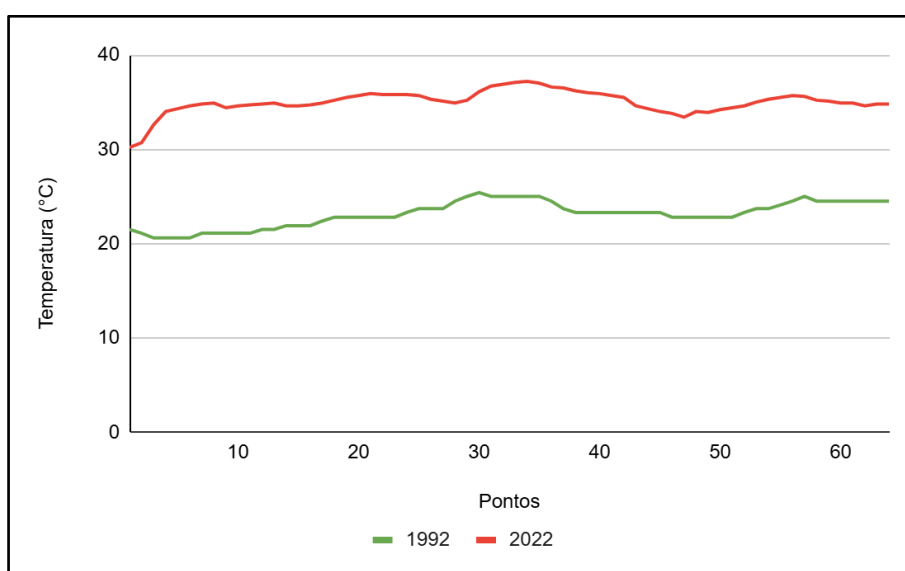
Gráfico 16 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 4 – Bairro Contorno – Inverno de 1992 e 2022



Fonte: A autora.

No mesmo sentido, o Gráfico 17 demonstra a variação da TST entre os verões de 1992 e 2022. Enquanto em 1992 as temperaturas oscilaram entre 20,6°C e 25,4°C, em 2022 os valores atingiram entre 30,2°C e 37,2°C, representando um aumento médio de cerca de 11,5°C para o período. Esse acréscimo confirma o impacto direto da expansão urbana sobre o aquecimento superficial, resultado da substituição da vegetação e do solo natural por edificações e pavimentação, especialmente nos loteamentos Campos Elísios, Panorama e San Marino.

Gráfico 17 – Perfil térmico dos transectos AB da Área 4 – Bairro Contorno – Verão de 1992 e 2022



Fonte: A autora.

Esses resultados indicam que, ao longo das três décadas analisadas, a Área 4 passou por uma transformação térmica expressiva, associada diretamente ao avanço da urbanização e à substituição das superfícies naturais por elementos construídos. O aumento médio da TST, de aproximadamente 11,8°C, nestes 30 anos, reflete a intensificação das temperaturas superficiais e a redução da variabilidade sazonal. A redução da cobertura vegetal e a ampliação das superfícies impermeáveis modificaram o equilíbrio térmico local, promovendo maior retenção de calor e menor capacidade de resfriamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente pesquisa todos os objetivos foram atingidos, ao analisar a relação entre o processo de urbanização e a variação da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) em quatro áreas representativas da cidade de Ponta Grossa (PR) nos anos de 1992 e 2022. A utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com base nas imagens dos satélites *Landsat 5* e *8*, mostrou-se eficiente para identificar as transformações ocorridas no uso e ocupação do solo, bem como para mensurar o impacto térmico decorrente da expansão urbana.

Para atingir aos resultados apresentados, foram gerados, conforme previsto, os mapas de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e de composição colorida (*RGB*), que permitiram analisar o uso e ocupação do solo nas diferentes áreas estudadas. A evolução da urbanização foi interpretada a partir das imagens históricas disponibilizadas pelo Google Earth, possibilitando observar o crescimento do espaço urbano e suas implicações sobre o comportamento térmico da superfície. A preparação e o tratamento dos materiais, incluindo a elaboração dos mapas temáticos, dos perfis térmicos e dos transectos, foram etapas fundamentais que garantiram a consistência metodológica e contribuíram diretamente para a interpretação espacial dos resultados.

Os resultados obtidos evidenciaram um aumento expressivo da TST em todas as áreas analisadas, revelando um padrão de aquecimento superficial diretamente relacionado à substituição da cobertura vegetal natural e áreas de cultivo por edificações, pavimentação e demais superfícies impermeáveis. Em média, verificou-se uma elevação térmica de 12°C entre 1992 e 2022, com destaque para os bairros Contorno e Cará-Cará, onde o crescimento de loteamentos residenciais foi mais intenso. Nas áreas dos bairros Neves e Boa Vista, o processo de urbanização mais recente também refletiu em aumento significativo da temperatura e redução da variabilidade térmica sazonal.

A comparação entre as quatro áreas permitiu constatar que o grau de impermeabilização e a presença de cobertura vegetal são fatores determinantes na modulação da temperatura superficial. Regiões com maior preservação de áreas verdes apresentaram temperaturas mais amenas, enquanto aquelas com densa ocupação urbana demonstraram maior retenção de calor, configurando microclimas mais aquecidos. Esses achados corroboram o que apontam estudos clássicos de Oke

(1987) e Monteiro (1976) sobre o papel das superfícies urbanas na intensificação das ilhas de calor.

Dessa forma, a pesquisa reforça a importância da integração entre Climatologia Urbana e planejamento territorial. Os dados obtidos podem subsidiar políticas públicas voltadas à mitigação do aquecimento urbano, por meio da ampliação de áreas verdes, do incentivo ao uso de materiais de menor absorção térmica e da preservação de remanescentes vegetais dentro do perímetro urbano.

Como encaminhamento futuro, sugere-se ampliar a análise para outros bairros da cidade e incorporar variáveis meteorológicas de superfície, como umidade e velocidade do vento, além de dados de temperatura do ar obtidos por estações meteorológicas locais. Também seria relevante investigar as repercussões do aquecimento superficial na sensação térmica e no conforto urbano da população, contribuindo para um planejamento ambiental mais sustentável e resiliente às mudanças climáticas.

Conclui-se, portanto, que o processo de urbanização de Ponta Grossa, ao longo das últimas três décadas, exerceu influência direta sobre o comportamento térmico da superfície, intensificando o aquecimento em áreas densamente construídas. O estudo evidencia a necessidade de conciliar o crescimento urbano com estratégias de ordenamento territorial e gestão ambiental capazes de minimizar os impactos climáticos e promover maior qualidade de vida à população urbana.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 16, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/40585>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- ALMEIDA JR, N. **Estudo de Clima Urbano**: Uma Proposta Metodológica. 2005. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 94 f. Cuiabá, MT. Disponível em: https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/component/docman/?task=doc_download&gid=61. Acesso em: 12 ago. 2025.
- ARAÚJO, T. L.; DI PACE, F. T. Determinação da temperatura instantânea da superfície terrestre da cidade de Maceió - Al, com base em imagens TM - Landsat 5. In: **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, 13., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 3717-3724. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.04/doc/3717-3724.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- AZEVEDO, M. S.; SOARES, R. A.; TORRES, L. F. Análise da relação entre temperatura de superfície e cobertura do solo na região metropolitana de Belém (PA). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 77-93, 2021. DOI: 10.5380/abclima. v28i0.75954.
- BEZERRA, E. S. et al. Análise temporal de ilhas de calor utilizando processamento de imagens de satélite: Estudo de caso Rio Branco, Acre. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 15, n. 1, p. 70-78, 2023. DOI: 10.5335/rbca. v15i1.14098. Acesso em: 14 ago. 2025.
- BLASCHKE, T.; GLASSER, C. e LANG, S. Processamento de imagens num ambiente integrado SIG / Sensoriamento remoto – Tendências e consequências. In: BLASCHKE, T. e KUX, H. (orgs.) **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**: novos sistemas: sensores métodos inovadores. Oficina de Textos, São Paulo, 2005. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/11.30.17.02/doc/Blaschke_sensoriamento_compressed.pdf.
- BORGES, J. C. A.; BATISTA, L. F. A. Índice de vegetação e temperatura de superfície terrestre: comparativo entre formação de ilhas de calor nos perímetros urbanos de Londrina e Maringá no PR. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 256–274, out.-dez. 2020. DOI: 10.3895/rbgeo. v8n4.12478. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/12478>. Acesso em: 21 ago. 2025.
- BOSCOLO, H. K.; NAMIKAWA, L. **As cores em imagens de sensoriamento remoto**. Das Questões, [S. l.], v. 6, n. 1, jan. 2019. DOI: 10.26512/dasquestoes.

v6i6.22052. Disponível em:

<https://periodicos.unb.br/index.php/dasquestoes/article/view/22052>. Acesso em: 26 ago. 2025.

BRANDÃO, A. M. de P. M. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 121-154.

CÂMARA, G, DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, Gilberto et al. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1-4. Disponível em: <http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, Gilberto et al. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1-33. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2025.

CHAMMA, G. V. F. **Ponta Grossa, o povo, a cidade e o poder**. Ponta Grossa, 1988.

CLENES, C.; CARDOSO, L. C. V.; DOURADO, V. C. **O processo de urbanização brasileira**. Estudos, Goiânia, v. 37, n. 5/6, p. 573-585, maio/jun. 2010. Disponível em: <https://seer.pucgoias.edu.br/index.php/estudos/article/view/1753/1099>. Acesso em: 13 ago. 2025.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin – QGIS Python Plugins Repository** (versão 8.5.0) [software]. 2024. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/>. Acesso em: 27 out. 2025

COSTA, E. R. **O campo termo-higrométrico intra-urbano e a formação de ilhas de calor e de frescor urbanas em Santa Maria/RS**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9313/COSTA%2C%20EDUINO%20RODRIGUES%20DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 ago. 2025.

CRUZ, G. C. F. da. Alguns aspectos do clima dos Campos Gerais. In: MELO, M. S. de.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (orgs.) **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014. e-book. Disponível em: <https://www.editora.uepg.br/ebooks/ebook-patrimonio-natural-dos-campos-gerais-do-parana>. Acesso em: 18 set. 2025.

CRUZ, G. C. F. da. **Clima urbano em Ponta Grossa - PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira**. GEOUSP: espaço e tempo. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2009. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-05022010-141629/pt-br.php>. Acesso em: 22. mai. 2025

CRUZ, G. C. F. da.; SANTOS, J. S. V.; MORESCO, F. A.; KUBASKI, K. M. A temperatura de superfície terrestre nas áreas urbanas e rurais de Florínea-SP e Cabrália Paulista-SP. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 9, n. 1, jan., 2023. DOI:10.34117/bjdv9n1-125 Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/56156>. Acesso em: 17 ago. 2025.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. Aspectos conceituais do sistema clima urbano: uma breve revisão bibliográfica sobre as ilhas de calor. **Cadernos de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 15, p. 13-26, jul./set. 1995.

DASH, P.; GOTTSCHKE, F. M.; OLESEN, F. S.; FISCHER, H. Land Surface Temperature and Emissivity Estimation from Passive Sensor Data: Theory and Practice Current Trends. **International Journal of Remote Sensing**, Vol. 23, No. 13, p. 2563-2594, 2002.

DIAS, A. M.; GONÇALVES, R. F.; SILVA, P. H. Análise da temperatura de superfície em áreas urbanas de Cuiabá e Várzea Grande (MT) com uso de imagens Landsat 8 e QGIS. **Revista Ciência Geográfica**, Bauru, v. 27, n. 4, p. 2715-2739, jan./dez. 2023. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/3581>. Acesso em: 27 set. 2025.

EMBRAPA. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 17 ago. 2025.

ENGESAT. **LANDSAT 4 E 5**. Disponível em: <https://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

ENGESAT. **LANDSAT 8**. Disponível em: <https://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

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, n. 19, p. 383-414, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.15766>. Acesso em: 17 ago. 2025.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, T. G. GEOTECNOLOGIAS NA GEOGRAFIA APLICADA: DIFUSÃO E ACESSO. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 17, p. 24-29, 2005. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/08.04.16.27/doc/Teresa_Gallotti_Florenzano.pdf

FRUTEIRA, R. S. et al. Uso da terra e temperatura de superfície em Ponta Grossa, Paraná (PR), Brasil. **Revista Geográfica Venezolana**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 332-344,

2018. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/3477/347760473007/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

GOMES, E. M. **Evolução urbana de Ponta Grossa-PR: uma análise entre as décadas de 1960 e 2000**. 2009. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93171>. Acesso em: 17 ago. 2025.

GOMES, W. P. **Características da temperatura na zona costeira: análise do clima urbano em Ubatuba-SP**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/a9b0a1c2-6e98-42f0-9574-d364baebe9d1/full>. Acesso em: 2 ago. 2025.

GUIMARÃES, G. B. et al. Geologia dos Campos Gerais. In: **Geologia dos Campos Gerais**. Ponta Grossa: UEPG, 2007. Disponível em: <http://ri.uepg.br:8080/riuepg/handle/123456789/446>. Acesso em: 3 out. 2025

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Atlas Climático do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 27 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022: 87% da população brasileira vive em áreas urbanas**. Agência de Notícias – IBGE, 13 jun. 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41901-censo-2022-87-da-populacao-brasileira-vive-em-areas-urbanas>. Acesso em: 21 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022: Cidades e Vilas**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-cidades-e-vilas.html?t=resultados>. Acesso em: 21 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico: 1970**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?view=detalhes&id=769>. Acesso em: 21 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados: Ponta Grossa (PR)**. IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 27 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População rural e urbana**. In: Atlas Geográfico Escolar. IBGE, 2022. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/brasil/urbanizacao/21912-populacao-rural-e-urbana>. Acesso em: 21 ago. 2025.

JACINTHO, L. R. C. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de unidades de conservação: o caso da Área**

de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José C. N. Epiphânio, Antônio R. Formaggio, Athos R. Santos, Bernardo F. T. Rudorff, Cláudia M. Almeida, Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JURGIEL, B.; VERCHÈRE, P.; TOURIGNY, E.; BECERRA, J. **Profile Tool – QGIS Python Plugins Repository** (versão 4.3.2) [software]. 2013. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/profiletool/>. Acesso em: 27 out. 2025.

KULLBERG, A. T.; FEELEY, K. J. Urban Heat Islands and What They Can Teach Us About Climate Change. **Frontiers for Young Minds**, v. 11, 943515, fev. 2023. DOI: 10.3389/frym.2023.943515. Disponível em: <https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2023.943515>. Acesso em: 21 ago. 2025.

LI, Z.-L.; WU, H.; DUAN, S.-B.; ZHAO, W.; REN, H.; LIU, X., et al. (2023). Satellite remote sensing of global land surface temperature: Definition, methods, products, and applications. **Reviews of Geophysics**, 61, e2022RG000777. <https://doi.org/10.1029/2022RG000777>. Acesso em: 2 ago. 2025.

LI, Z.-L.; TANG, B.-H.; WU, H.; REN, H.; YAN, G.; WAN, Z.; TRIGO, I. F.; SOBRINO, J. A. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. **Remote Sensing of Environment**, v. 131, p. 14-37, jan. 2013. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712004749>. Acesso em: 2 ago. 2025.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec. Acesso em: 21 ago. 2025., 1985

LOMBARDO, M. A. O processo de urbanização e a qualidade ambiental - efeitos adversos no clima. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 4, p. 161-166, out./dez. 1990.

MAACK R. 2002. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Imprensa Oficial, 440 p.

MARTINS, A. P.; NASCIMENTO, D. T. F. O uso das geotecnologias em estudos climáticos no Cerrado brasileiro. In: NASCIMENTO, D. T. F. et al. (Org.). **Climatologia do Cerrado**: variabilidades, suscetibilidades e mudanças climáticas no contexto do Cerrado brasileiro. Goiânia, GO: C&A Alfa Comunicação, 2021. p. 201-231.

MENDONÇA, F. **Clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno**: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de londrina/pr. 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MENDONÇA, F. O clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teóricos metodológicos e estudo de caso In: SANT' ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Org.) **Variabilidade e Mudanças Climáticas**: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá, Cap. 09, p. 165-192, 2000.

MENDONÇA, F. O Estudo do clima urbano no Brasil. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. Cap. 06, p. 175-192, 2003.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MENEGUZZO, P. M.; MELO, M. S. de. Carta de suscetibilidade a processos geoambientais no espaço urbano de Ponta Grossa, PR: cabeceiras do Arroio Olarias. **Revista Universidade Guarulhos**. Geociências, Guarulhos, v. 8, n. 6, p. 30-43, dez. 2003. Disponível em: <https://revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/view/1423/1213>. Acesso em: 3 out. 2025.

MENESES, P. R. Modelos de cores aplicadas às imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 2012. p.121-137. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332292728_INTRODUCAO_AO_PROCESAMENTO_DE_IMAGENS_DE_SENSORIAMENTO_REMOTO . Acesso em: 18 ago. 2025.

MERRICK, T. W. Resultados preliminares do censo de 1970 realizado no Brasil. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 85-96, abr./jun. 1972. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rap/article/download/5862/4561>. Acesso em: 8 ago. 2025.

MIRANDA, M. P.; PONTES, M. P.; MORAIS, P. Â. S.; UCHOA, E. B.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. Emprego de técnicas de processamento digital em imagens Landsat 8 para mapeamento geológico. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 29, n. 1, p. 71–80, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/39550>. Acesso em: 18 ago. 2025.

MONASTIRSKY, L. B. **Cidade e ferrovia: a mitificação do pátio central da RFFSA em Ponta Grossa**. 1997. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/111954>. Acesso em: 21 ago. 2025

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1976. 181 p. (Série teses e monografias, 25).

MONTEIRO, C.A de F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos do clima urbano no Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v.5, n.9, p.7- 19, 1990.

MORO, R. S.; CARMO, M. R. B. do. Vegetação Campestre. In: MELO, M. S. de.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (orgs.) **Patrimônio Natural dos Campos Gerais**

do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014. e-book. Disponível em: <https://www.editora.uepg.br/ebooks/ebook-patrimonio-natural-dos-campos-gerais-do-parana>. Acesso em: 18 set. 2025.

NASA. **Landsat 9.** Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

NASCIMENTO, F. H.; JARDIM, C. H.; RANGEL, S. A. S. Variação da temperatura de superfície através de técnicas de sensoriamento remoto: análise de dois episódios para o Concelho de Coimbra, Portugal/2018. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, ano 17, jan./jun. 2021. DOI: 10.5380/abclima.v28i0.75954. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/download/14342/7694/46388>. Acesso em: 17 ago. 2025.

NDOSSI, M. I.; AVDAN, U. Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin. **Remote sensing**, v. 8, n. 5, p. 413, 2016.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. London: Methuen & Co. Ltd, 1987.

ONU. **Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. Divisão de População.** The World Urbanization Prospects: 2018 Revision. Nova Iorque, 2018. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Acesso em: 10 ago. 2025.

ONU-Habitat. **ONU-Habitat: população mundial será 68% urbana até 2050.** Nações Unidas no Brasil, 1 jul. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>. Acesso em: 23 ago. 2025.

PENNA, B. R. **O papel da temperatura de superfície continental no sistema global de assimilação variacional tridimensional do CPTEC/INPE.** 2014. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014.

PIRES, E. G; FERREIRA, JR. L. G. F. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 17, 2015, João Pessoa. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7421-7428. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JJLLP2>. Acesso em: 28 ago. 2025.

PONTA GROSSA. **Revisão do Plano Diretor do Município de Ponta Grossa: Análise Temática Integrada.** Instituto de Pesquisa e Planejamento de Ponta Grossa. 2018. Disponível em: https://iplan.pontagrossa.pr.gov.br/wp-content/uploads/2023/07/PDM_PG_Relatorio-03_Analise_Tematica_Integrada_Fase_2_Parte_1_compressed-1.pdf. Acesso em: 28 ago. 2025.

- PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. Análise da temperatura da superfície por meio de imagens Landsat-8: estudo de caso para o município de Jaguari/RS/Brasil. **Formação (Online)**, Presidente Prudente - SP, v. 3, n. 23, p. 264-285, mai-ago. 2016. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/4471>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- ROSA, R. Geotecnologia na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 24 ago. 2025.
- ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. [S. l.]: Instituto de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento, 2013. 142 p. Disponível em: <http://biblioteca.unisced.edu.mz/handle/123456789/2535>. Acesso em: 24 ago. 2025.
- SANTOS, C. S. dos. **A inserção urbana do direito à cidade em Ponta Grossa-PR: ênfase em conjuntos habitacionais entre 2012 a 2021**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais Aplicadas) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgcsa/wp-content/uploads/sites/34/2025/02/Carolina-Soares-dos-Santos.pdf>. Acesso em: 20 out. 2025.
- SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**: fundamentos teórico e metodológico da geografia. São Paulo: Hucitec, 1988.
- SANTOS, M. N. **Utilização de software livre na análise de temperatura e uso do solo, para região de Ribeirão Preto**. 2017. 46 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5563>. Acesso em: 22 ago. 2025.
- SAYDELLES, A. P.; SARTORI, M. G. B. Estudo da insolação direta na área central do perímetro urbano de Santa Maria-RS. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 3. 2004. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/934>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- SOBRINO, J. A.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v. 89, n. 4, p. 434–440, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425704000574>. Acesso em: 26 out. 2025.
- SOUZA, J. D.; SILVA, B. B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 349-358, dez. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2005000400002>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- STAMOULIS, K. V. G.; MADALOZZO, N. Expansão urbana em Ponta Grossa-PR: uma análise sobre seu processo e suas consequências. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 27, n. 4, p. 2715-2739, jan./dez. 2023. Disponível em:

<https://ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/3581>. Acesso em: 27 set. 2025.

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimentos em Planaltina-DF. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 6, p. 37-56, 2010.

SUN, Q.; WU, Z.; TAN, J. The relationship between land surface temperature and land use/land cover in Guangzhou, China. **Environmental Earth Sciences**, v. 65, p. 1687–1694, 2012. DOI: 10.1007/s12665-011-1145-2. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-011-1145-2>. Acesso em: 17 ago. 2025.

TANG, B. H.; WU, H.; LI, C.; LI, Z. L. Estimation of broadband surface emissivity from narrowband emissivities. **Optics Express**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 185–192, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.19.000185>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21263556/>. Acesso em: 26 out. 2025.

TRAN, D. X.; PLA, F.; LATORRE-CARMONA, P.; MYINT, S. W.; CAETANO, M.; KIEU, H. V. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 124, p. 119-132, fev. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271617300035>

TRINDADE, E. F.; SALDANHA, L. M.; FILHO, A. R. Análise espaço-temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbanas em Santa Maria (RS) com uso de imagens Landsat e QGIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 5, p. 1420-1436, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234512>. Acesso em: 25 ago. 2025.

TRINDADE, M. L. B.; OLIVEIRA, M. R.; IMAI, N. N. A representação de composições coloridas por um espaço de atributos reduzidos. In: **ANAIS DO VII SBRS**, 1993. p. 470-476. UNESP. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/2008/06.02.13.55/doc/470-476.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2025.

USGS. United States Geological Survey. **Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8: data de passagem 04/08/2013 EUA**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions>. Acesso em: 17 ago. 2025.

USGS. United States Geological Survey. **Earth Explorer**. 2024. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat 8**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. Acesso em: 17 ago. 2025.

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703000798>. Acesso em: 20 out. 2025.

WAN, Zhengming. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD). Version 3.3. Santa Barbara: **Institute for Computational Earth System Science**, University of California, 1999. Disponível em: https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod11.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.

WENG, Q. A remote sensing–GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 10, p. 1999-2014, 2001. Disponível em: [a-remote-sensing-gis-evaluation-of-urban-expansion-and-its-2rvy22ugpm.pdf](https://share.google/R8ITeMvlgq4myWk9I)
<https://share.google/R8ITeMvlgq4myWk9I>. Acesso em: 17 ago. 2025.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Terre Haute, v. 64, n. 4, p. 335-344, março, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092427160900046X?via%3Dihub>. Acesso em: 17 ago. 2025.