

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEBORAH DASCHEVI

**ANÁLISE SAZONAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM RELAÇÃO À
ARBORIZAÇÃO NOS BAIRROS DA REGIÃO CENTRAL DE LONDRINA-PR**

LONDRINA

2023

DEBORAH DASCHEVI

**ANÁLISE SAZONAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM RELAÇÃO À
ARBORIZAÇÃO NOS BAIRROS DA REGIÃO CENTRAL DE LONDRINA-PR**

**SEASONAL ANALYSIS OF SURFACE TEMPERATURE IN RELATION TO TREE
COVER IN THE NEIGHBORHOODS OF CENTRAL REGION, LONDRINA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária

Orientadora: Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista

LONDRINA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DEBORAH DASCHEVI

**ANÁLISE SAZONAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM RELAÇÃO À
ARBORIZAÇÃO NOS BAIRROS DA REGIÃO CENTRAL DE LONDRINA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação de Engenharia Ambiental e Sanitária apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28/junho/2023

Ligia Flávia Antunes Batista
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Joseane Débora Peruço Theodoro
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rodrigo Augusto Torres
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer e dedicar este trabalho às seguintes pessoas:

Primeiramente a Deus, pois foi através de Sua presença constante que encontrei força e coragem para enfrentar todos os desafios que surgiram ao longo dessa jornada. Nos momentos de incerteza e cansaço, quando parecia difícil demais ou quase impossível, Ele foi meu refúgio e fonte de esperança.

À minha família, por todo suporte e incentivo que me proporcionaram.

Aos meus amigos, pelos momentos e conversas compartilhadas, pelos momentos de risos e distrações que tornaram essa jornada ainda mais leve.

Não posso deixar de mencionar também minha orientadora, cuja dedicação e orientação foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. Seu conhecimento, apoio e disponibilidade foram inestimáveis. Suas contribuições foram valiosas, e suas críticas construtivas me ajudaram a aprimorar ainda mais meu TCC e a alcançar resultados de qualidade.

A todos que de alguma forma contribuíram para o meu sucesso acadêmico, expressei minha mais profunda gratidão. Suas influências positivas, apoio e incentivo foram essenciais ao longo dessa jornada. Que este trabalho seja uma forma modesta de retribuir todo o apoio recebido ao longo dessa caminhada.

RESUMO

As mudanças no uso de terra associadas à urbanização têm um impacto significativo no microclima urbano, resultando em temperaturas superficiais mais elevadas. A remoção da vegetação para a construção de edifícios e pavimentação contribui para o aumento das temperaturas. Por isso a presença da vegetação desempenha um papel fundamental na redução da poluição e no conforto térmico das áreas urbanas, além de influenciar na temperatura de superfície. Compreender os padrões de temperatura e sua relação com a densidade de árvores viárias é importante para promover um planejamento urbano mais sustentável e melhorar a qualidade de vida nas cidades. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a temperatura de superfície terrestre (TST) em 16 bairros da região central de Londrina obtida por meio da banda da faixa termal do satélite Landsat 8 ao longo das quatro estações do ano de 2018. Além disso, procura-se investigar a correlação entre a TST e a Densidade de árvores viárias nos 16 bairros de estudo. Os resultados obtidos revelaram uma correlação moderada a fraca entre as variáveis TST e Densidade de árvores por bairro, variando de 0,21 a 0,63 para as TST mínimas e -0,03 a -0,53 para as TST máximas. Isso indica que a presença de árvores nas áreas urbanas pode ter um efeito atenuante sobre as temperaturas de superfície, embora sua influência possa ser também afetada por outros fatores. Esses resultados ressaltam a importância de considerar a arborização viária urbana como uma estratégia eficaz no planejamento urbano para mitigar os efeitos do aumento das temperaturas de superfície decorrentes da urbanização, podendo contribuir para criar ações de gestão pública para a melhoria da vegetação e o bem-estar da população urbana.

Palavras-chave: urbanização; temperatura de superfície; correlação; densidade de árvores por bairro.

ABSTRACT

The changes in land use associated with urbanization have a significant impact on the urban microclimate, resulting in higher surface temperatures. The removal of vegetation for building construction and paving contributes to the temperature increase. Therefore, the presence of vegetation plays a crucial role in reducing pollution and improving thermal comfort in urban areas, as well as influencing surface temperatures. Understanding temperature patterns and their relationship with street tree density is important for promoting more sustainable urban planning and improving quality of life in cities. In this context, this study aims to analyze land surface temperature (LST) in 16 neighborhoods in the central region of Londrina, obtained through the thermal band of Landsat 8 satellite, throughout the four seasons of 2018. Additionally, we seek to investigate the correlation between LST and street tree density in the 16 study neighborhoods. The results revealed a moderate to weak correlation between the variables LST and tree density by neighborhood, ranging from 0.21 to 0.63 for minimum LST and -0.03 to -0.53 for maximum LST. This indicates that the presence of trees in urban areas may have a mitigating effect on surface temperatures, although their influence may also be affected by other factors. These findings highlight the importance of considering urban street tree planting as an effective strategy in urban planning to mitigate the effects of increased surface temperatures resulting from urbanization, which can contribute to creating public management actions for improving vegetation and the well-being of the urban population.

Keywords: urbanization; surface temperature; correlation; street tree density by neighborhood.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Esquema da radiância de uma área A	19
Figura 2-A: Fluxos de energia no balanço de energia diurno e noturno. B: Balanço de energia em uma superfície com vegetação	22
Figura 3-Mapa de Localização do Município de Londrina-PR	24
Figura 4-Mapa de Classificação Climática do Estado do Paraná.....	25
Figura 5-Mapa fitogeográfico da região de Londrina-PR.....	26
Figura 6-Distribuição dos pontos amostrados inventariados referentes à arborização nos bairros da região central de Londrina.....	27
Figura 7- Temperatura de Superfície Terrestre na região central de Londrina-PR nas estações outono, inverno, primavera e verão (A, B, C e D, respectivamente). A demarcação na linha preta representa os limites dos bairros amostrados.....	32
Figura 8- Centro Social Urbano (Círculo A) no Bairro Vila Recreio	33
Figura 9- Terminal Rodoviário (Círculo A). Supermercado Condor (Círculo B). Centro Municipal de Educação Infantil (Círculo C) no Bairro Vila Casoni.	34
Figura 10- Bosque da Catedral Metropolitana (Círculo A). Áreas construídas (Círculo B) do Centro Histórico.....	35
Figura 11- Praça UBS (Círculo A) no Bairro Vila Brasil.....	36
Figura 12- Área construída (Círculo A) no Bairro Aeroporto.....	37
Figura 13-Imagem de Satélite do Bairro Vila Casoni.....	43
Figura 14-Imagem de Satélite do Bairro Guanabara	45
Figura 15- Bairro Guanabara. (A) Temperatura de Superfície. (B) Imagem de Satélite	45
Figura 16- Bairro de Guanabara. (A) Temperatura de Superfície. (B) Imagem de Satélite	46
Figura 17-Imagem de Satélite do Bairro Higienópolis	47
Figura 18- Bairro Higienópolis. (A) Temperatura de Superfície. (B) Imagem de Satélite	47
Figura 19- Bairro Higienópolis. (A) Temperatura de Superfície. (B) Imagem de Satélite	48
Figura 20- Comparação entre as temperaturas do ar e de superfície nas estações do ano em 2018	49
Figura 21- A: Mapa temático de densidade de árvores por bairro sem peso. B: Mapa temático de densidade de árvores por bairro com peso “altura total”	51
Figura 22- Gráficos de dispersão da análise de regressão linear simples entre os valores de TST e Densidade para cada unidade amostral analisada (SEM PESO)	53
Figura 23- Gráfico de dispersão da análise de regressão linear simples entre os valores de TST e Densidade para cada unidade amostral analisada (COM PESO)	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Médias mensais da Temperatura do ar (°C), registradas em 2018 em Londrina-PR.....	25
Tabela 2- Propriedades radioativas de materiais naturais	39
Tabela 3- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação outono/2018	39
Tabela 4- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação inverno/2018	41
Tabela 5- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação primavera/2018	41
Tabela 6- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação verão/2018.....	42
Tabela 7- Coeficiente de correlação entre temperatura de superfície terrestre com a densidade de árvores por bairro no ano de 2018.....	56
Tabela 8- Número de pontos e a densidade de árvores em cada bairro	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARSET	Applied Remote Sensing Training
GEE	Google Earth Engine
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LST	Land Surface Temperature
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OLI	Operational Land Imager
SR	Sensoriamento Remoto
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TST	Temperatura de Superfície Terrestre
USGS	United States Geological Survey
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Clima Urbano	16
3.2	Temperatura de Superfície Terrestre.....	17
3.3	Sensoriamento Remoto	18
3.4	Vegetação e Balanço de Energia	20
3.5	Gestão e Arborização.....	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	Caracterização da área de estudo.....	24
4.2	Seleção dos bairros e dados de inventário de arborização	26
4.3	Obtenção das imagens de TST	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	Análise geral da temperatura de superfície para cada estação do ano de 2018 (outono, inverno, primavera e verão)	31
5.2	Análise específica das temperaturas mínimas e máximas por estação e bairro	39
5.2.1	Outono.....	39
5.2.2	Inverno	40
5.2.3	Primavera	41
5.2.4	Verão	42
5.3	Análise da densidade de árvores por bairro	50
5.4	Regressão entre temperatura de superfície e densidade	52
5.5	Análise da correlação entre temperatura e densidade de árvores ..	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE A - Tabela de Número de pontos e Densidade de pontos por bairro com e sem peso	66
	ANEXO A - Código-Fonte ARSET.....	68

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização promove diversos impactos no clima local, pois ao longo do crescimento desordenado das cidades, grande parte da vegetação é suprimida para dar lugar a plantações, edificações e superfícies pavimentadas causando um desconforto ambiental, tanto em nível térmico, visual ou de circulação do ar, resultando em um ambiente desagradável para a população (LIMA; NUNES; SOARES, 2009).

A vegetação proporciona um conforto térmico, sendo também um importante agente redutor de poluição no meio urbano (ALBUQUERQUE; LOPES, 2016). Além disso, proporciona um equilíbrio no clima, interferindo na temperatura, velocidade dos ventos, pluviosidade, balanço de radiação, entre outros aspectos (VASCONCELOS; ZAMPARONI, 2011).

A temperatura de superfície tem um impacto direto na temperatura do ar (MAFFIOLETTI et al., 2021), sendo uma variável importante de ser utilizada no processo de transferência de calor para a superfície terrestre, influenciando os processos atmosfera-solo e clima local.

De acordo com Ricce et al. (2009), as temperaturas médias anuais de Londrina-PR têm apresentado elevação ao longo dos anos. Esse aumento de temperatura pode ter diversos impactos no meio ambiente, incluindo mudanças nos padrões de precipitação, intensificação de efeitos climáticos extremos (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016). Portanto, compreender o contexto local de aquecimento e suas consequências é fundamental para orientar ações de mitigação e adaptação ao clima na cidade.

Diante disso, a temperatura de superfície e o índice de vegetação se apresentam como importantes parâmetros para estudos termais do ambiente urbano e suas dinâmicas climáticas (WENG, 2009), uma vez que em áreas com pouca vegetação e altas temperaturas de superfície, tem-se a necessidade de tomar providências, criando projetos e ações de gestão pública que promovam a ampliação e o aprimoramento da vegetação urbana (ROMERO et al., 2020, p.15).

A lei que rege as normas para a arborização do município de Londrina é a Lei Municipal 11996/2013, que institui o Plano Diretor de Arborização e fornece procedimentos técnicos de implantação, cuidado e manutenção das árvores no meio urbano. O Art.11 da Lei 11996/2013, estabelece que a arborização, áreas verdes

urbanas e as demais formas de vegetação natural, são bens de interesse comum a todos, cabendo ao poder público e à sociedade a responsabilidade pela sua conservação (Londrina, 2013).

Neste contexto, o objetivo da presente pesquisa foi analisar a temperatura de superfície terrestre de 16 bairros da região central de Londrina-PR nas quatro estações do ano de 2018 e comparar com a densidade de árvores por bairro a fim de verificar se há relação entre elas. Tal análise visa dar suporte ao planejamento urbano e à educação ambiental para este município, servindo como fonte de informação para políticas públicas e como subsídio à elaboração de projetos urbanísticos e paisagísticos para a melhoria do meio ambiente em que a população está inserida.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a variação da temperatura da superfície terrestre, por estação do ano, considerando o período de 2018, e compará-la com a densidade de arborização nos bairros da área central de Londrina, para os quais haja dados de inventário de árvores nas vias.

2.2 Objetivos Específicos

- Produzir mapas de temperatura de superfície a partir de imagens de sensoriamento remoto de cada estação do ano de 2018, estratificados por bairro;
- Representar espacialmente a densidade arbórea em cada bairro da área de estudo, utilizando a contagem de árvores por área;
- Avaliar a correlação entre a temperatura de superfície de cada bairro, por estação do ano, e sua respectiva arborização viária.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Clima Urbano

O processo de urbanização e o crescimento desordenado da população têm provocado uma série de mudanças no meio ambiente (GUERRA; CUNHA, 2018).

Essas mudanças tiveram grandes impactos em todas as esferas sociais e ambientais do Brasil, sendo uma delas no meio ambiente e na superfície, como Nascimento (2010) destaca, no que diz respeito à “impermeabilização do solo e retirada da cobertura vegetal; à concentração de construções e atividades antrópicas; à alteração na composição da atmosfera; à alteração na velocidade e fluxo dos ventos”.

Com isso, há uma grande alteração do clima urbano, que segundo Oke (1987), é um resultado das modificações na atmosfera causadas pelo processo de urbanização, interferindo no clima de um dado local. Monteiro (1976) destaca três subsistemas de percepção do clima urbano: o termodinâmico, que diz respeito ao conforto térmico; o físico-químico referindo-se à qualidade do ar; e o hidrodinâmico como um impacto meteorológico.

Com relação ao clima urbano, muito se fala sobre os fenômenos “ilhas de calor”, que são “formadas pela diferença do balanço de radiação existente entre a superfície urbana central e a periférica” (NASCIMENTO, 2010). Isto é, onde há um menor índice de vegetação e recursos hídricos, menor precipitação é assimilada pelas raízes das plantas e liberada para a atmosfera pela evapotranspiração (RELYEA, 2021). Conseqüentemente a quantidade de escoamento superficial aumenta, resultando também em uma maior quantidade de energia para aquecer a temperatura do ar.

Por isso, segundo Gartland (2010), a vegetação costuma manter a temperatura igual ou inferior à temperatura do ar, e essas Ilhas de calor são formadas em áreas urbanas porque muitos materiais de construção absorvem e retêm mais calor do sol do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas.

Além da temperatura do ar que resulta em parte do movimento de advecção dos ventos e da transferência de calor da superfície terrestre, como citado por Arantes et al. (2009), informações sobre a temperatura superficial também são de suma importância para o estudo das variações de temperatura do ar e sua distribuição

espacial, bem como para a compreensão do clima e suas mudanças ao longo do tempo.

3.2 Temperatura de Superfície Terrestre

Para Pereira (2014), a temperatura de superfície terrestre (TST), refere-se ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do corpo. E além de ser essencial para o entendimento das interações entre a superfície terrestre, Penna (2014) afirma que a atmosfera representa um parâmetro muito importante em estudos que utilizam modelos climáticos.

As TST são bem mais variantes do que as temperaturas do ar (GARTLAND, 2010 p. 16), isto é, ao longo do dia, com a intensidade da luz solar, as superfícies urbanas (asfalto, calçadas, construções) são aquecidas ficando mais quentes que o ar. Assim, à noite com a queda da temperatura, essas superfícies liberam o calor acumulado voltando a temperatura original.

Wan (1999) destaca que a obtenção da TST depende de três fatores: uma boa avaliação dos efeitos da atmosfera; boa estimativa da emissividade; qualidade do sensor do infravermelho termal, incluindo a resposta espectral e a resolução radiométrica.

Hoje, a TST é usualmente estimada por meio da radiância observada por sensores a bordo de satélites (PENNA, 2014). Antes dos satélites, a temperatura podia ser medida apenas por radiômetros terrestres ou aeronaves. Tais observações são específicas do local e podem não fornecer uma visão global ou mesmo regional convincente.

Weng (2009) aponta que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) possibilita comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética da Terra, auxiliando no monitoramento sazonal e nas variações dos parâmetros estruturais e biofísicos da vegetação. Este índice está também associado à temperatura de superfície, cuja correlação é abordada em muitos estudos (BORGES; BATISTA, 2020).

3.3 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto (SR) pode ser compreendido como uma forma de obter informações de um objeto ou fenômeno à distância, em contraste às medidas in situ (LORENZZETTI, 2015, p. 16), ou seja, medidas analisadas no próprio local.

Segundo Slater (1980 apud LORENZZETTI, 2015, p.15), através da radiação eletromagnética refletida, emitida ou retroespalhada pelos alvos, que são coletadas por meio de sensores remotos (balões, foguetes, aviões ou satélites), é possível obter informações referentes aos recursos naturais da Terra e ao meio ambiente.

Dessa forma, é possível diagnosticar a TST a partir do processamento de imagens de satélite por meio do sensoriamento remoto, usando a faixa de comprimento de onda do infravermelho termal. Como Gartland (2010) relata, o SR pode ser usado para medir temperaturas de superfícies bem como explorar características da mesma, “em coberturas, pavimentos, vegetação e solo, por meio da medição de energia refletida e emitida a partir deles”.

O Landsat foi o primeiro satélite a atuar em pesquisas de recursos naturais da Terra. Criado pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), o Landsat-1 foi lançado em 1972 e, hoje, existem 8 satélites operacionais de observação da Terra da série Landsat que usam sensores para coletar dados e criar imagens multiespectrais (USGS, 2019).

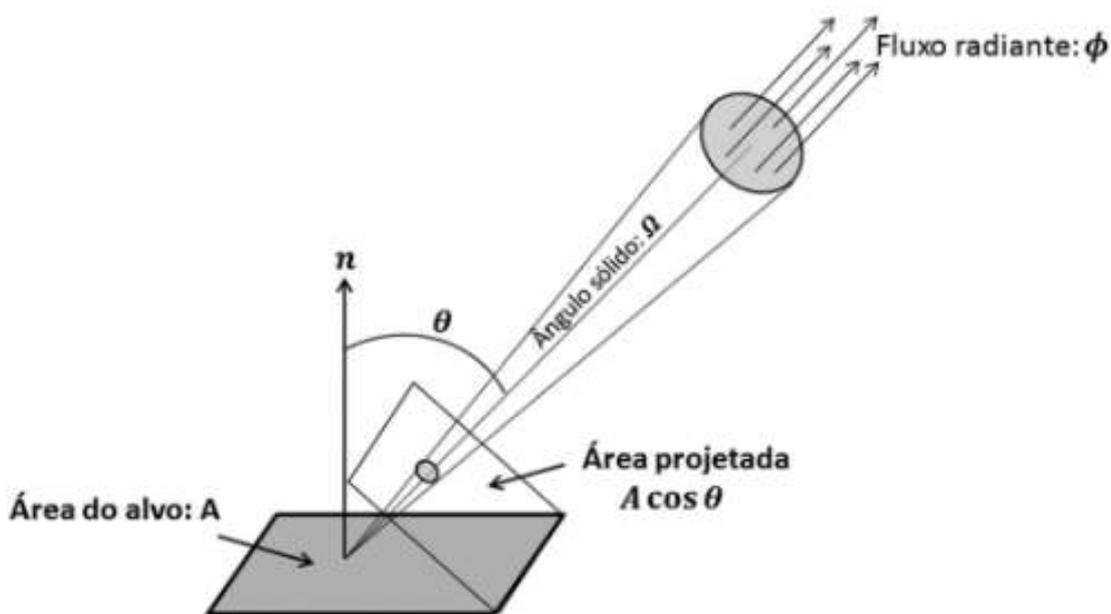
Lançado em fevereiro de 2013, o satélite Landsat 8 possui o sensor Operational Land Imager (OLI) com 9 bandas espectrais e o sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS). O OLI adquire dados de energia eletromagnética refletida nas faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. O TIRS mede a temperatura das superfícies terrestres em duas bandas do infravermelho termal. 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 e seu horário de passagem ocorre durante o dia às 10h (USGS, 2019).

Weng (2009) afirma que os dados do infravermelho térmico (TIRS) têm sido amplamente utilizados para recuperar a TST e sua relação com características de superfície, e também para avaliar ilhas de calor. Destaca também que somente os dados TIRS de sensoriamento remoto podem fornecer uma visão contínua e simultânea de toda a cidade, o que é de suma importância para a investigação detalhada do clima da superfície urbana.

Coelho e Corrêa (2013) utilizaram em seu estudo, informações de temperatura da superfície do canal infravermelho termal do sensor TIRS/Landsat 8, banda 10, afirmando que o sensor contribuiu na identificação, espacialização e na compreensão da dinâmica climática de microclimas locais.

Na região do infravermelho termal, a radiação é o resultado da vibração molecular dos corpos. E toda matéria em uma temperatura acima de zero absoluto (0° K), emite a radiação eletromagnética (OLIVEIRA; ROSA, 2013). Essa quantidade de radiação que é emitida e refletida pelos alvos denomina-se radiância (Figura 1), que é uma medida radiométrica usada para caracterizar o fluxo radiante através de qualquer superfície no espaço (LORENZZETTI, 2015, p. 97).

Figura 1-Esquema da radiância de uma área A



Fonte: (LORENZZETTI, 2015, p.97)

Assim, é possível obter a TST aplicando-se parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem para radiância, baseada na Equação 1 disponibilizada pelo USGS (2019).

$$L_{\lambda} = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Onde:

L_{λ} : Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts ($m^2 \text{ sr } \mu m$);

ML: Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04;
 AL: Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000;
 Qcal: Valor quantizado calibrado pelo pixel em NC = Imagem banda 10.

Para transformar a temperatura efetiva no satélite para Celsius, subtrai-se 273,15 da temperatura obtida anteriormente em Kelvin. Como apresenta na Equação 2 a seguir.

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (2)$$

3.4 Vegetação e Balanço de Energia

A vegetação é um importante agente regulador e atenuador de temperatura que tem o efeito de equilibrar o balanço de energia nas cidades (CASTRO, 2019). A temperatura do ar atua no processo de evapotranspiração, pois, neste processo a radiação solar é absorvida pela atmosfera elevando a temperatura do ar (TEIXEIRA; FILHO, 2004). Assim, com esse aumento da temperatura, torna-se maior a quantidade de vapor d'água retornando para a atmosfera, o que auxilia na formação de nuvens e chuvas (CARVALHO; SILVA, 2006).

Além disso, Carvalho e Silva (2006) destacam que no processo de evapotranspiração, a vegetação presente absorve água da superfície do solo através das raízes, e transferem para a atmosfera na forma de vapor de água. Essa perda d'água para a atmosfera na forma de vapor, é resultante das ações físicas e fisiológicas dos vegetais (através dos estômatos).

Sendo assim, Gois (2020) salienta que a retirada de vegetação aumenta o albedo superficial fazendo com que o suprimento de umidade seja limitado, reduzindo a evapotranspiração e resultando em menor pluviosidade e maiores temperaturas.

Barry e Chorley (2009) apresentam o processo de troca de energia entre a atmosfera em uma superfície sem vegetação, através de uma Equação 3 do balanço de energia em superfície, em que:

$$R_n = H + LE + G \quad (3)$$

onde:

R_n: saldo de radiação de todos os comprimentos de onda = [S(1-α)] + L_n

S: radiação incidente de ondas curtas

α : fração correspondente ao albedo da superfície

L_n : saldo de radiação (emitida) de ondas longas (infravermelho)

G : fluxo de calor para o solo

H : fluxo turbulento de calor sensível para a atmosfera

LE : fluxo turbulento de calor latente para a atmosfera (E = evaporação; L =calor latente de vaporização)

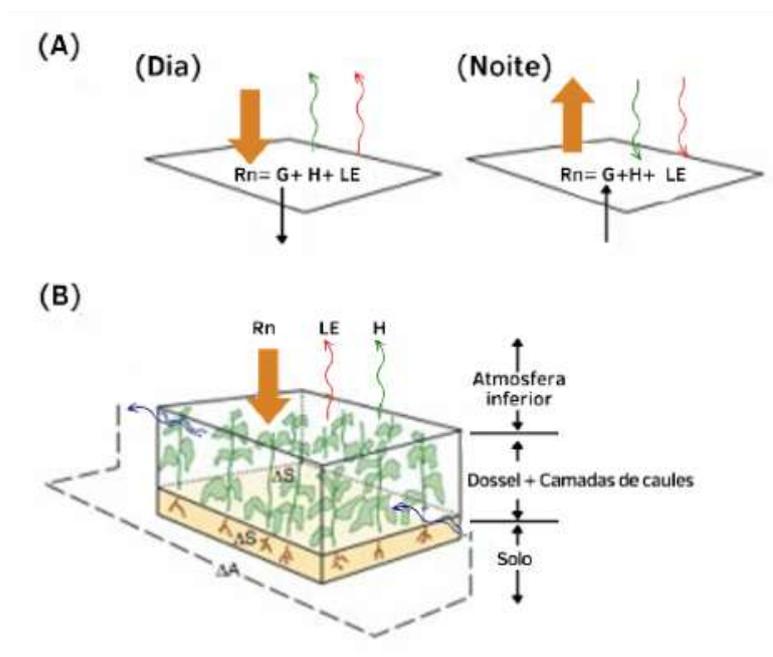
Durante o período diurno, quando a radiação atinge a superfície, ocorre um equilíbrio entre o saldo de radiação (R_n) e os fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE) que são emitidos para a atmosfera, juntamente com a condução de calor para o solo (G). Uma parte da radiação é absorvida, enquanto outra parte é refletida e volta para o espaço (Figura 2-A) (Barry e Chorley, 2009).

À noite, o saldo de radiação (R_n) se torna negativo devido à emissão de radiação de ondas longas. Esse saldo negativo é compensado pela condução de calor do solo (G) e pelo calor turbulento do ar (H) (Figura 1-A) (Barry e Chorley, 2009).

Nas áreas onde há vegetação (Figura 2-B), as folhas desempenham um papel importante na absorção da radiação solar, evitando sua incidência direta na superfície. Assim, a energia solar que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície terrestre e grande parte dessa energia é irradiada de volta para a atmosfera na forma de radiação infravermelha (Barry e Chorley, 2009).

Quando existe uma cobertura de vegetação, pode haver um pequeno armazenamento de calor bioquímico, devido à fotossíntese, assim como de calor físico nas folhas e caules.

Figura 2-A: Fluxos de energia no balanço de energia diurno e noturno. B: Balanço de energia em uma superfície com vegetação



Fonte: BARRY; CHORLEY (2009, p. 394)

3.5 Gestão e Arborização

Nascimento (2010) afirma que áreas ocupadas por vegetação, apresentam temperaturas mais amenas, e que as maiores temperaturas superficiais são encontradas nas áreas urbanizadas. Por isso, muitos municípios dispõem de ferramentas para o planejamento e gestão e monitoramento das áreas verdes no meio urbano para propiciar um conforto térmico no ambiente, além de muitos outros benefícios para a sociedade.

O Instituto Água e Terra (IAT, 2022) cita alguns benefícios da vegetação no meio urbano, sendo eles: controle da poluição do ar, da temperatura, umidade e acústica, aumento da permeabilidade do solo e interceptação da água da chuva, sombreamento, age como barreira contra ventos, ruídos e alta luminosidade, sequestra e armazena carbono, valorização visual, recreação, entre outros.

Para que as árvores possam desenvolver seu papel da melhor forma no ambiente urbano, deve ser elaborado um planejamento de arborização urbana fundamentado em critérios técnicos-científicos de estabelecimento da arborização nos

estágios de curto, médio e longo prazo. Tal plano envolve técnica de plantio, quais espécies mais recomendadas, qual o local mais adequado, sobre sua manutenção, entre outros (CECCHETTO et al.,2014).

Por outro lado, sem um controle adequado de manutenção e implantação dessas árvores nas vias urbanas, podem haver interferências como uma “pavimentação inadequada, estrangulamento dos canteiros, raízes em conflito com redes de gás, água e outras tubulações de concessionárias de serviços públicos” (ROSSETTI; PELLEGRINO; TAVARES, 2010).

O Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/12, Art. 3º, XX) define áreas verdes urbanas como “espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais” (BRASIL, 2012).

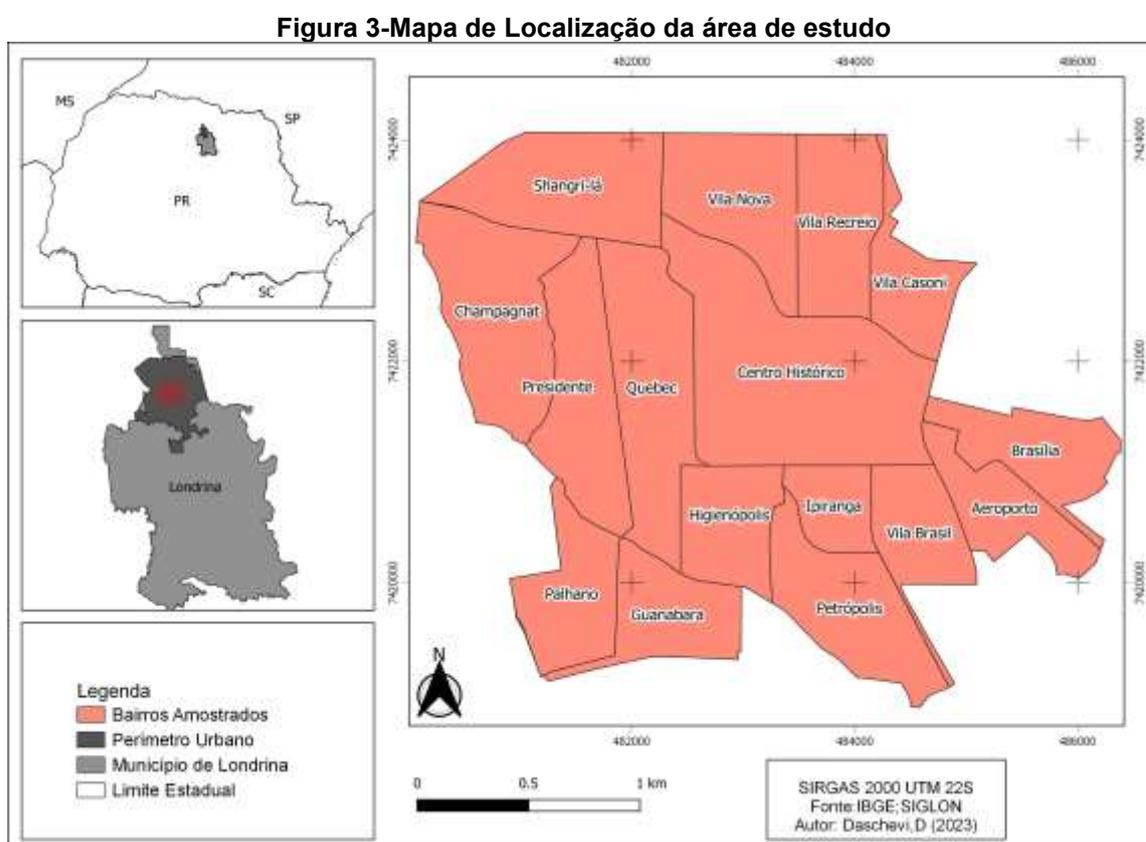
O Estatuto da Cidade, conforme estabelecido na Lei Federal nº 10.257/2001, Art. 4º estipula que os municípios têm a responsabilidade de implementar o plano diretor e o plano de desenvolvimento urbano. No que diz respeito à arborização, é necessário observar as diretrizes que visam garantir cidades sustentáveis e proporcionar áreas de lazer, controlar o uso do solo para evitar a poluição e a degradação das áreas urbanizadas, além de proteger, preservar e recuperar o meio ambiente natural e construído, incluindo o patrimônio paisagístico (BRASIL, 2001).

O Plano Diretor de Arborização é um documento municipal que estabelece normas referentes à gestão, implantação, plantio, manutenção e monitoramento das árvores no meio urbano (MPPR, 2018). Em Londrina, a Lei que rege as normas para arborização do Município é a Lei Municipal 11996/2013, o Plano Diretor de Arborização, que estabelece normas para plantio, erradicação, manutenção e ampliação das áreas verdes de Londrina, bem como arborização de calçadas e canteiros (LONDRINA, 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

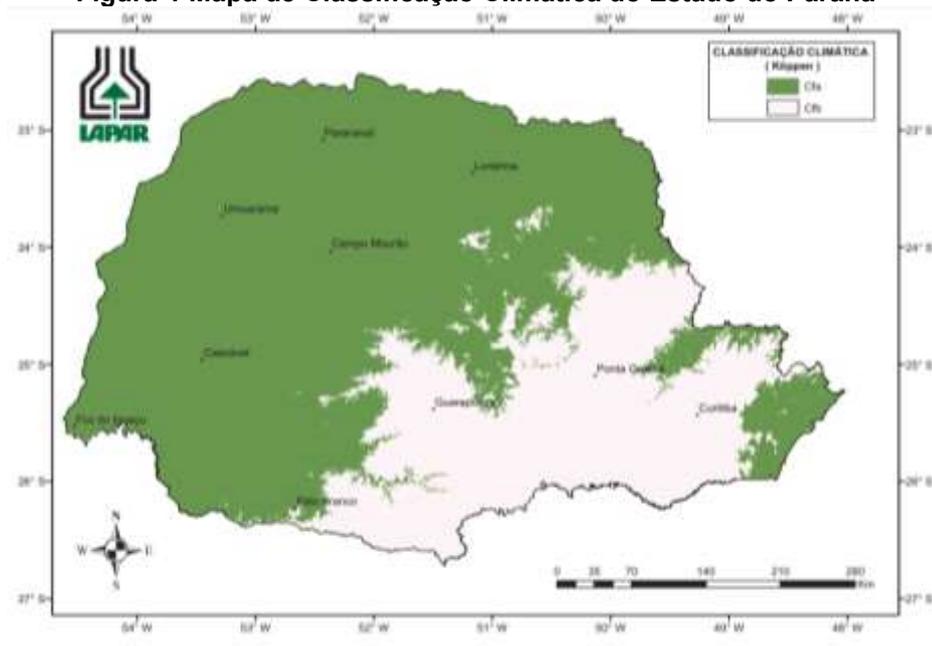
Localizado ao Norte do estado do Paraná, entre as coordenadas 23°08' e 23°55' de Latitude Sul e 50°52' e 51°19' de Longitude a Oeste de Greenwich, Londrina é um município que possui uma área de 1.652,569 km², sendo 264,641 km² de perímetro urbano (IBGE, 2021). O município apresenta uma população estimada pelo censo de 2021 do IBGE de 580.870 habitantes, com uma densidade demográfica de 306,52 hab/km². Na Figura 3 a seguir é mostrado um mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2023)

No tocante à climatologia da área de estudo, segundo a classificação climática de Köppen, o clima do município de Londrina é subtropical úmido (Cfa), isto é, verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendências de chuvas nos meses de verão, como mostrado na Figura 4.

Figura 4-Mapa de Classificação Climática do Estado do Paraná



Fonte: IAPAR (2019)

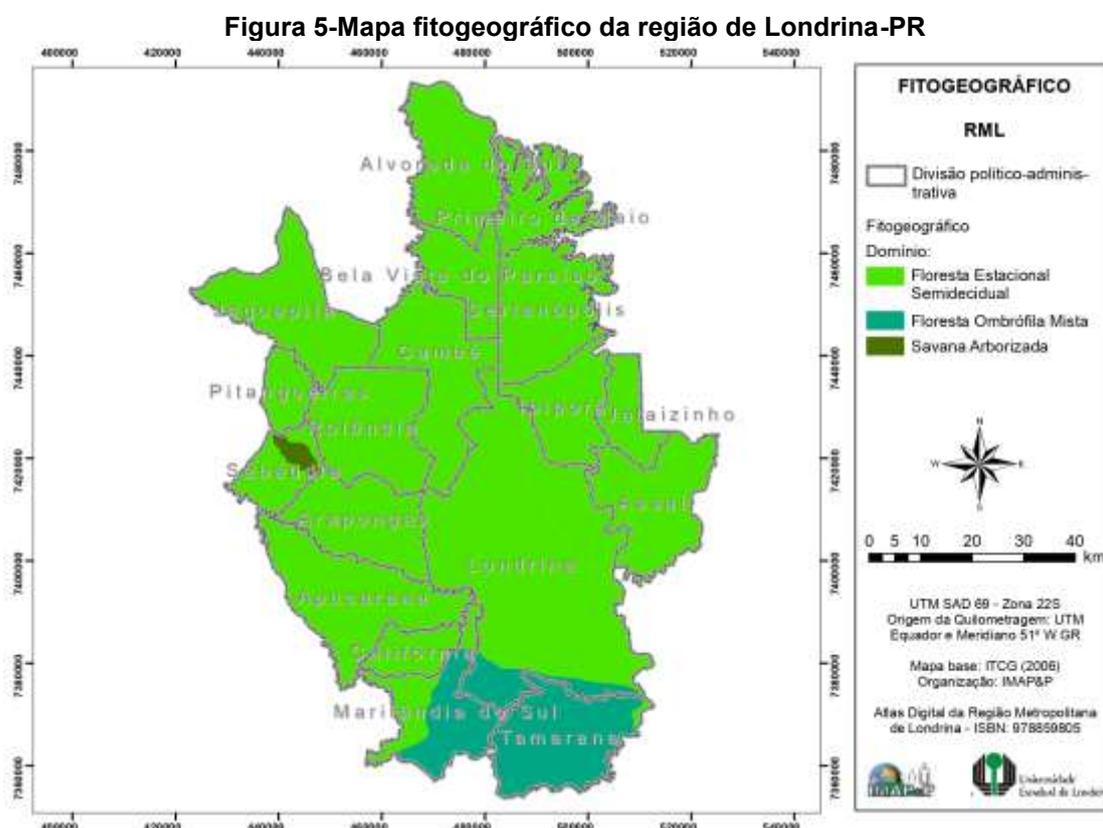
As médias anuais de temperatura do ar em Londrina são: temperatura superior a 22°C nos meses mais quentes e temperatura inferior a 18°C nos meses mais frios (CODEL, 2015). Em 2018, o município de Londrina registrou a temperatura média anual do ar de 20,9°C (INMET, 2018). Através dos dados representados na Tabela 1 a seguir, é possível visualizar a variação das temperaturas ao longo desse período.

Tabela 1- Médias mensais da Temperatura do ar (°C), registradas em 2018 em Londrina-PR

Mês	Temperatura do ar (°C)	
	Média das Máximas	Média das Mínimas
Janeiro	29,43	20,27
Fevereiro	29,78	19,14
Março	31,88	21,40
Abril	29,88	18,43
Maio	28,00	15,30
Junho	24,00	15,18
Julho	28,67	14,25
Agosto	24,33	12,82
Setembro	29,20	18,75
Outubro	27,92	17,50
Novembro	30,50	19,67
Dezembro	31,60	21,43

Fonte: INMET (2018)

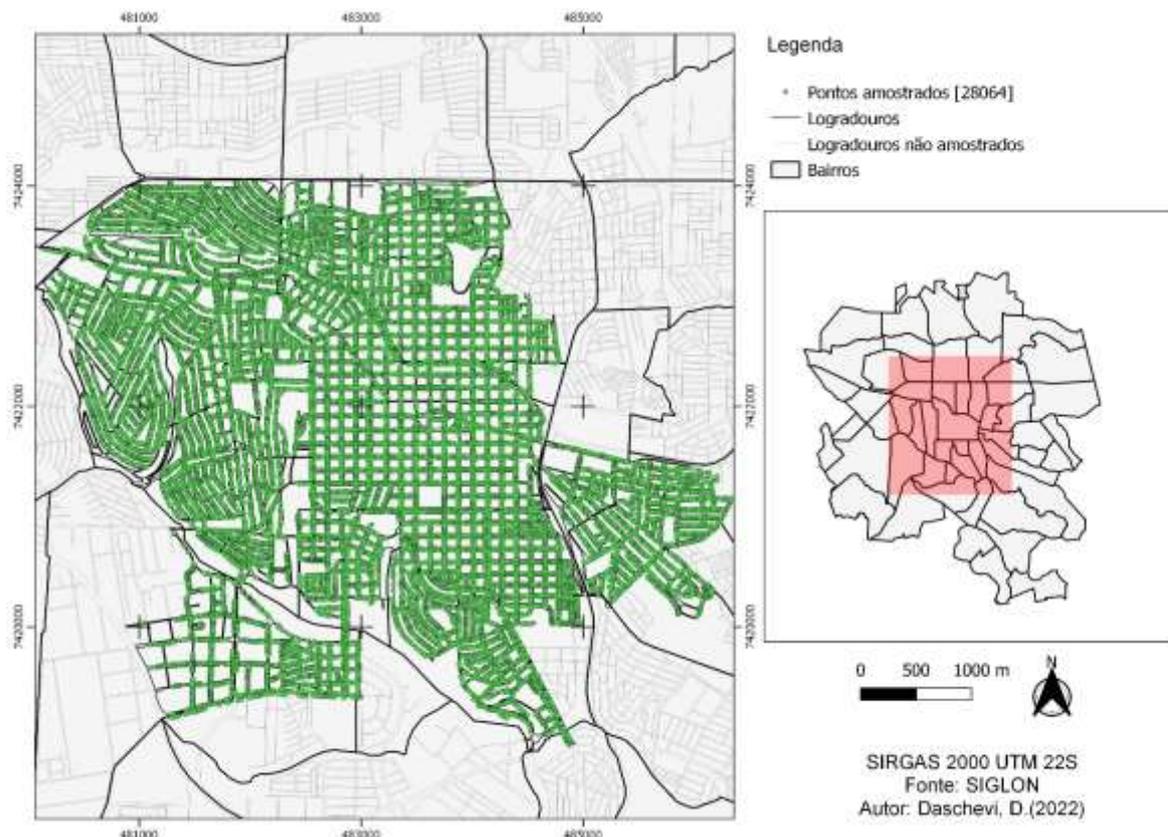
Londrina está localizada no bioma Mata Atlântica (IBGE,2023), sendo o tipo de floresta predominante a floresta estacional semidecidual, caracterizada por formações de ambientes que transitam entre ambientes úmidos e semiáridos. Neste bioma é possível encontrar espécies arbóreas como *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) *Standley* conhecida como pau-d'arco-amarelo, *Cordia* sp. (freijó), *Plathymenia foliolosa* Benth. (amarelo), *Tabebuia avellaneda* Lorentz ex Griseb (pau-d'arco-roxo), *Pithecolobium polycephalum* Benth. (camondongo) e *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil), (EMBRAPA,2023). A seguir, na Figura 5 é mostrado um mapa fitogeográfico para a região de Londrina-PR.



4.2 Seleção dos bairros e dados de inventário de arborização

Para a execução do presente trabalho, primeiramente foi realizada a aquisição do produto cartográfico desenvolvido por um projeto de extensão do inventário de arborização viária do município de Londrina - Paraná, executado no período de maio a dezembro de 2018 (PORTO; BATISTA; FARIA; 2019). Nesse projeto, foi realizado o levantamento e georreferenciamento de 28.064 plantas (Figura 6) na região central do Município, em 370 ruas de 8 regiões centrais de Londrina.

Figura 6-Distribuição dos pontos amostrados inventariados referentes à arborização nos bairros da região central de Londrina



Fonte: Aatoria própria (2022)

Inicialmente, foram obtidos todos os pontos georreferenciados pelo projeto de extensão que correspondem à arborização nas vias públicas, os quais foram sobrepostos aos bairros para melhor visualização da distribuição dos pontos por bairro, como mostrado anteriormente na Figura 6.

Assim, observou-se quais bairros tiveram dados de inventário de arborização, totalizando 19. No entanto, para garantir uma avaliação confiável da densidade arbórea em cada bairro, foram excluídos da análise aqueles que tiveram uma porção muito pequena de sua área mapeada.

Com os dados dos pontos amostrados referentes à arborização, em que há informações sobre localização, altura total, altura do fuste, DAP (diâmetro à altura do peito) e CAP (circunferência à altura do peito), bem como a espécie de cada árvore, utilizou-se os seguintes bairros para o estudo: Vila Recreio, Vila Nova, Vila Casoni, Shangri-lá, Presidente, Higienópolis, Ipiranga, Petrópolis, Vila Brasil, Guanabara, Quebec, Centro Histórico, Champagnat, Aeroporto, Brasília e Palhano.

4.3 Obtenção das imagens de TST

Foram obtidas quatro imagens orbitais de temperatura de superfície do município de Londrina para o ano de 2018. As imagens foram adquiridas por meio do Google Earth Engine (GEE), uma plataforma de armazenamento de imagens de sensoriamento remoto e processamento de dados em nuvem que possibilita análises de dados geoespaciais e conta com um repositório de códigos de diversas análises de dados.

O satélite utilizado para a coleta foi o Landsat 8, para estimar valores de TST. A banda termal corresponde a banda 10 que possui um intervalo espectral que contém uma faixa espectral de 10,6-11,19 μm (USGS).

É importante ressaltar que as imagens adquiridas pelo Landsat 8 foram capturadas durante o período diurno, devido ao horário de passagem do satélite que de acordo com USGS ocorre por volta de 13h30 na região de Londrina. Essa restrição de horário se deve à natureza do sensor térmico, que é mais sensível à radiação solar durante o dia.

O código utilizado no GEE para adquirir as imagens de temperatura no período de tempo e para uma área de estudo específica foi desenvolvido por McCartney (2022), que criou um algoritmo gratuito e aberto para analisar séries temporais de temperatura de superfície do Landsat 8 de uma área de interesse definida para o Treinamento de Sensoriamento Remoto Aplicado da NASA (ARSET, 2022). O código-fonte completo está disponível no Anexo (A) deste trabalho.

No código produzido por McCartney (2022) é utilizado o conjunto de dados de refletância de superfície Landsat 8 (Collection 2 Level 2 corrigidos atmosféricamente "LANDSAT/LC08/C02/T1_L2") e convertidos para os dados de temperatura de superfície.

Através do código fornecido pela NASA ARSET, foi possível selecionar as coordenadas geográficas (longitude -51.1, latitude -23.3) que correspondem à localização do município de Londrina-PR.

Os períodos de tempo escolhidos foram selecionados de acordo com as datas do início e fim das quatro estações do ano, a saber: verão (21/12 - 21/03), outono (21/03 - 21/06), inverno (21/06 - 23/09) e primavera (23/09 - 21/12).

Após derivar a temperatura em Kelvin, foi utilizada uma função "subtract (273,15)" para transformar a temperatura de superfície em graus Celsius.

Por fim, exportam-se as imagens de média de temperatura de superfície em cada estação do ano como um arquivo em formato “TIFF” para o Google Drive.

Em seguida, as quatro imagens (verão, primavera, outono e inverno) extraídas do GEE foram importadas ao Qgis e através da ferramenta “Estatísticas Zonais” gerou-se os valores das temperaturas (mínima, média e máxima) de cada estação do ano, para cada bairro em que se tem dados do inventário de arborização.

Para analisar a distribuição da arborização em cada bairro, foi utilizado a ferramenta “contagem de pontos por polígono” no Qgis, a fim de contar o número de árvores viárias (na calçada) amostradas em cada bairro. A densidade de árvores por bairro foi calculada conforme a Equação 4 a seguir.

$$\text{Densidade} = n_{\text{pontos}} / \text{área} \quad (4)$$

Em que n_{pontos} é o número de árvores em cada bairro e área do bairro é calculada em km^2 .

Além disso, utilizou-se o peso de “altura total” disponível nos dados de cada ponto amostrado para calcular o número de pontos com peso em cada bairro, de modo que árvores maiores teriam maior influência na densidade arbórea. Com isso, foi possível calcular a densidade de árvores por bairro, dividindo esses pontos ponderados pela área em km^2 , como mostrado na Equação 5 a seguir.

$$\text{Densidade} = \text{soma (altura)} / \text{área} \quad (5)$$

Em que altura é a medida estimada visualmente em campo durante a coleta.

Essa abordagem nos permite avaliar não só a quantidade de árvores em cada bairro, mas também a influência da altura, o que é relevante para relacionar o tamanho das árvores com a temperatura de superfície, como apontado por Mascaró (2012), que destaca o papel fundamental da vegetação formada por árvores de porte médio e grande na mitigação do aquecimento superficial.

Utilizando os dados das TST mínimas e máximas de cada estação, juntamente com a densidade de árvores por bairro, foram realizados gráficos de regressão linear para investigar a relação entre as duas variáveis. De acordo com Hoffmann (2016), existem correlações positivas, negativas e próximas de zero. Essa

análise nos permite uma melhor visualização e compreensão da intensidade da relação entre as variáveis, fornecendo informações relevantes sobre o impacto da vegetação na TST local. Além disso, o coeficiente de determinação (r^2) obtido nos gráficos de regressão indica o quão bem um modelo de regressão linear se ajusta aos dados.

Com os valores da densidade calculadas, realizou-se a correlação de Pearson entre a temperatura mínima e máxima de cada estação e a densidade de árvores por bairro, utilizando o Excel. Em seguida, foram criados gráficos de dispersão para cada parâmetro da temperatura mínima e máxima de cada estação por bairro, para calcular o coeficiente de determinação r^2 .

O coeficiente de correlação de Pearson, refere-se a um parâmetro de medida linear do nível de associação entre duas variáveis (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009). Seus resultados variam de -1 a 1, indicando o nível de correlação entre as variáveis. Valores próximos de 1 indicam uma correlação positiva forte, ou seja, uma alta dependência estatística linear entre as variáveis. Por outro lado, valores próximos de -1 indicam uma correlação negativa forte, representando que o aumento de uma variável influencia na redução da outra. Neste estudo, correlação forte significa que a temperatura é influenciada pela densidade de árvores na região. Por outro lado, valores próximos a -1 indicam uma correlação fraca, sugerindo que a temperatura não possui uma forte relação com a densidade de árvores.

Neste projeto, as variáveis consideradas para a correlação foram a densidade de árvores por bairro e a temperatura de superfície mínima e máxima em cada estação do ano, seguindo uma abordagem similar à utilizada por Hendges et al. (2018) em seu estudo. Onde investigou a correlação entre o uso e cobertura da terra e a temperatura de superfície, e concluiu que áreas com presença de vegetação tendem a apresentar temperaturas de superfície mais baixas.

Portanto, a análise dessa correlação permitiu avaliar se existe uma relação significativa entre a densidade de árvores nas vias e a temperatura de superfície na região central de Londrina, fornecendo informações relevantes sobre a influência do componente vegetal na temperatura local.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados do presente estudo realizou-se uma análise de correlação entre a TST e densidade de árvores por bairro na região central de Londrina. Inicialmente, a correlação foi realizada considerando todos os 19 bairros amostrados, independentemente do número de pontos inventariados. No entanto, essa abordagem gerou resultados que não foram considerados satisfatórios.

Para investigar a possível influência dos bairros com poucos pontos inventariados na correlação, decidiu-se realizar uma análise adicional. Identificou-se três bairros, denominados Inglaterra, Bandeirantes e Bela Suíça, contendo apenas 4, 14 e 20 pontos, respectivamente. Diante dessa constatação, optou-se por excluir essas três áreas da análise, já que tinham sido amostradas apenas parcialmente, resultando em uma amostra final de 16 bairros.

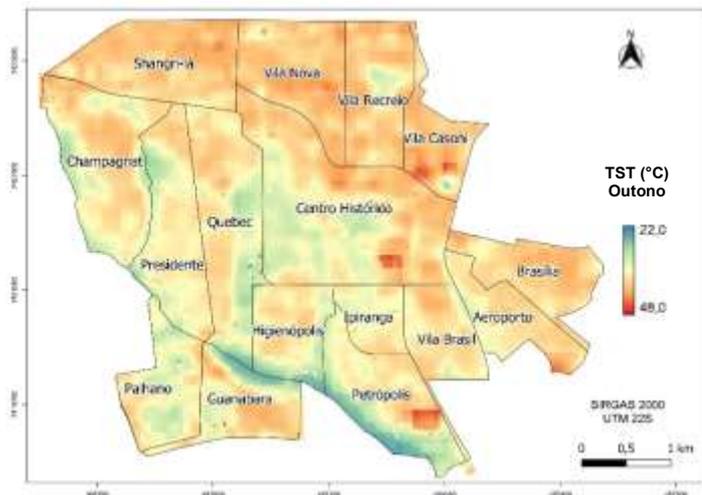
A exclusão dos bairros com poucos pontos inventariados foi uma medida adotada com o intuito de garantir a confiabilidade dos resultados. A baixa quantidade de pontos inventariados nesses bairros poderia afetar negativamente a análise de correlação. Ao remover essas áreas da análise, foi possível obter melhores resultados. Os demais bairros considerados na análise apresentam no mínimo 500 pontos de inventário de árvores.

5.1 Análise geral da temperatura de superfície para cada estação do ano de 2018 (outono, inverno, primavera e verão)

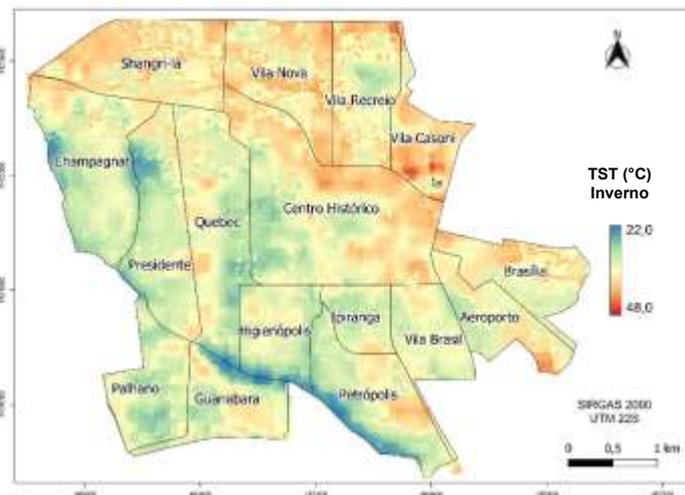
Na Figura 7 apresentam-se os mapas de temperatura de superfície para cada estação do ano de 2018. Essas imagens permitem explorar as variações sazonais e identificar possíveis diferenças de temperatura entre os bairros amostrados neste estudo.

Figura 7- Temperatura de Superfície Terrestre na região central de Londrina-PR nas estações outono, inverno, primavera e verão (A, B, C e D, respectivamente). A demarcação na linha preta representa os limites dos bairros amostrados.

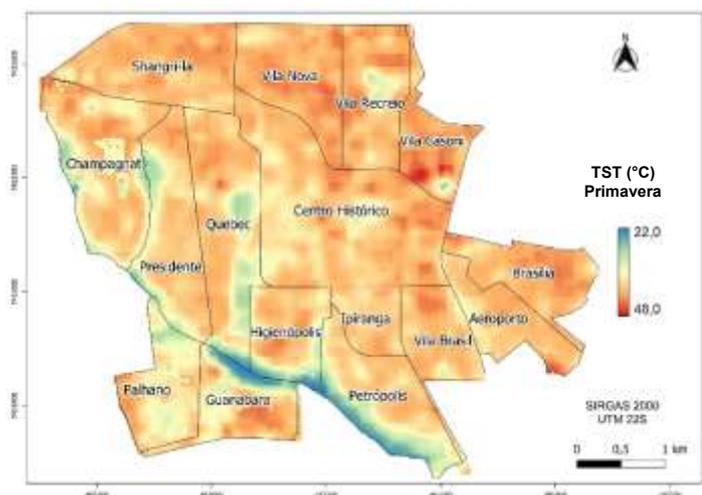
(A) Temperatura de Superfície Terrestre no Outono



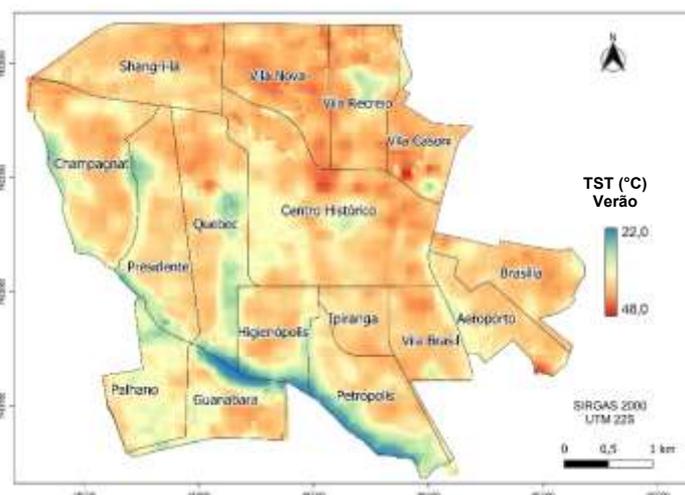
(B) Temperatura de Superfície Terrestre no inverno



(C) Temperatura de Superfície Terrestre na Primavera



(D) Temperatura de Superfície Terrestre no Verão



Fonte: Autoria própria (2022)

Nos mapas de TST das quatro estações do ano – outono, inverno, primavera e verão– as cores variam de azul a vermelho, representando as temperaturas mínimas (azul) e máximas (vermelho), variando de 22,0 a 48,0 graus Celsius em todos os mapas.

Antes de explorar as características distintas de cada mapa de temperatura de superfície, é relevante ressaltar os elementos que eles têm em comum. As quatro imagens da Figura 7 (A, B, C e D) destacam uma intensidade característica do tom

azulado, o qual está relacionado ao Lago Igapó e aos fundos de vale. Essa associação é confirmada ao comparar com as imagens de satélite.

No Bairro Vila Recreio, destaca-se uma mancha azulada que corresponde ao Centro Social Urbano (Figura 8 – Círculo A), localizado em um fundo de vale específico, conforme mostra na Figura 8, em que percebe-se uma área verde que possui TST abaixo das áreas de seu entorno em todas as estações do ano.

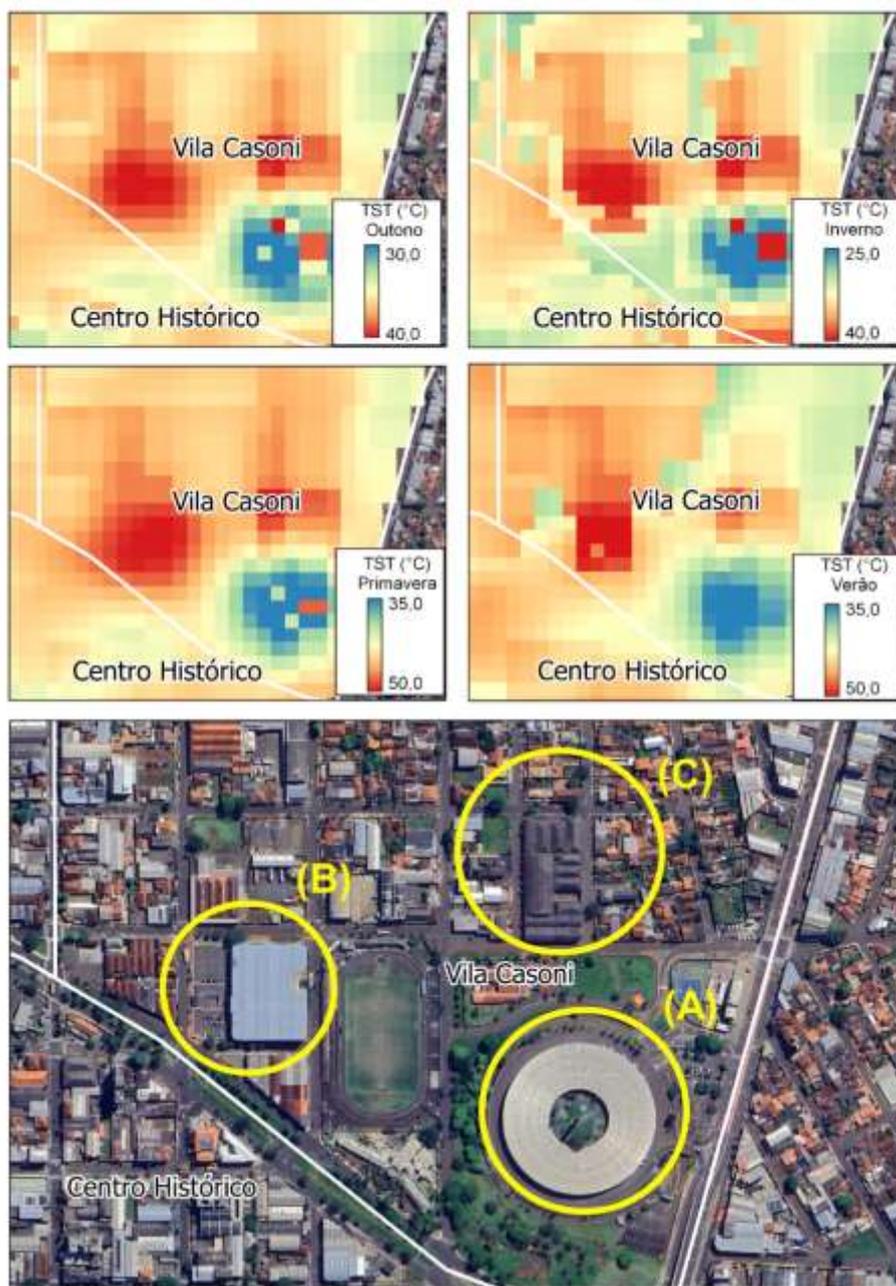
Figura 8- Centro Social Urbano (Círculo A) no Bairro Vila Recreio



Fonte: Autoria própria (2023)

Já no bairro Vila Casoni, além das áreas vermelhas mais intensas em comparação com outros bairros nas áreas destacadas (Figura 9 – Círculo B e C) representando o Supermercado Condor e o Centro Municipal de Educação Infantil respectivamente, é possível observar também uma tonalidade azulada que se encontra no Terminal Rodoviário, onde há uma praça tanto dentro quanto ao redor do terminal (Figura 9 – Círculo A).

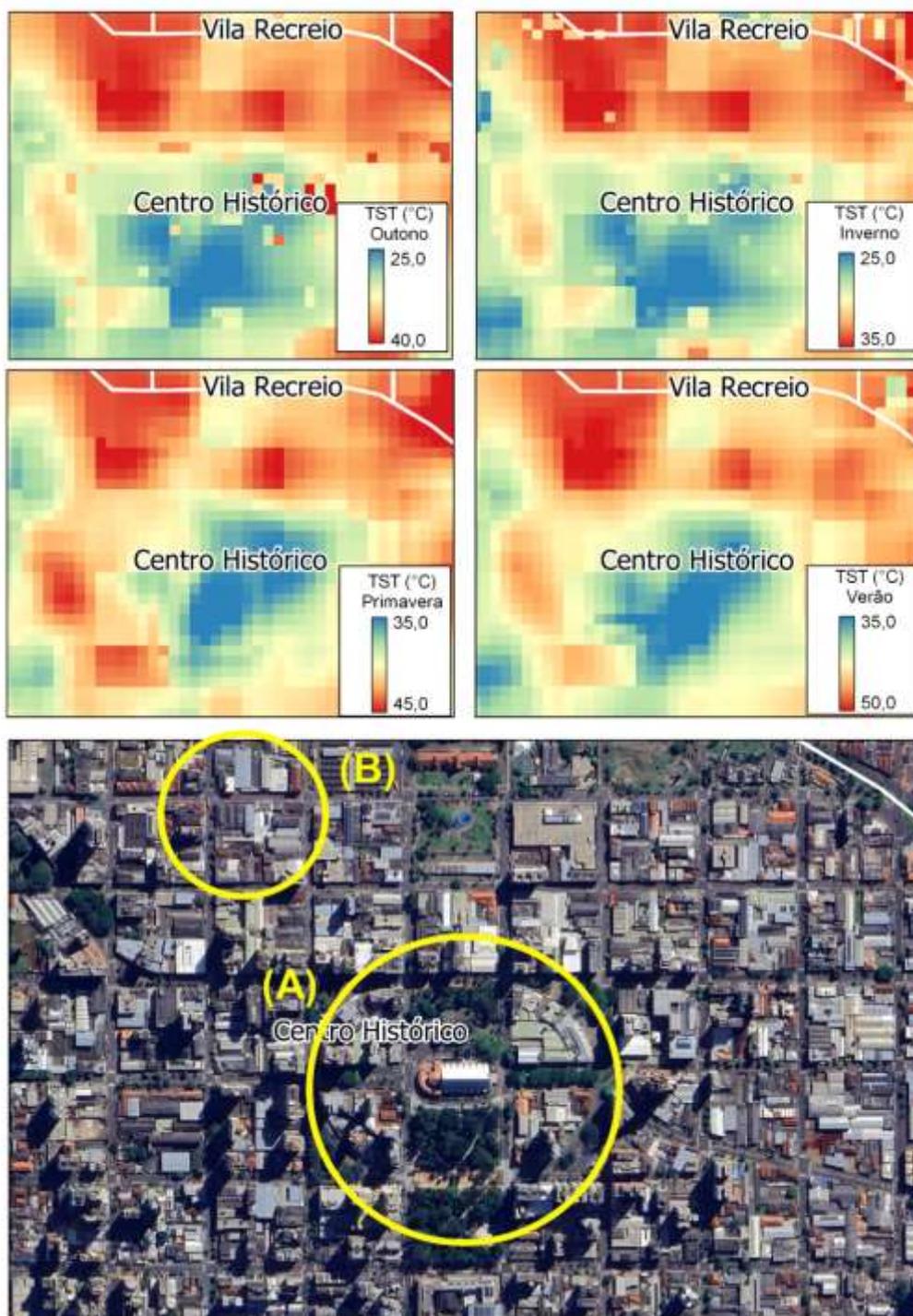
Figura 9- Terminal Rodoviário (Círculo A). Supermercado Condor (Círculo B). Centro Municipal de Educação Infantil (Círculo C) no Bairro Vila Casoni.



Fonte: Autoria própria (2023)

No Centro Histórico, nota-se uma área azulada mais clara, indicando a presença do Bosque da Catedral Metropolitana de Londrina (Figura 10- Círculo A), e as áreas em vermelho destacam-se alguns telhados de empreendimentos próximos a secretaria Municipal do Trabalho (Figura 10 – Círculo B).

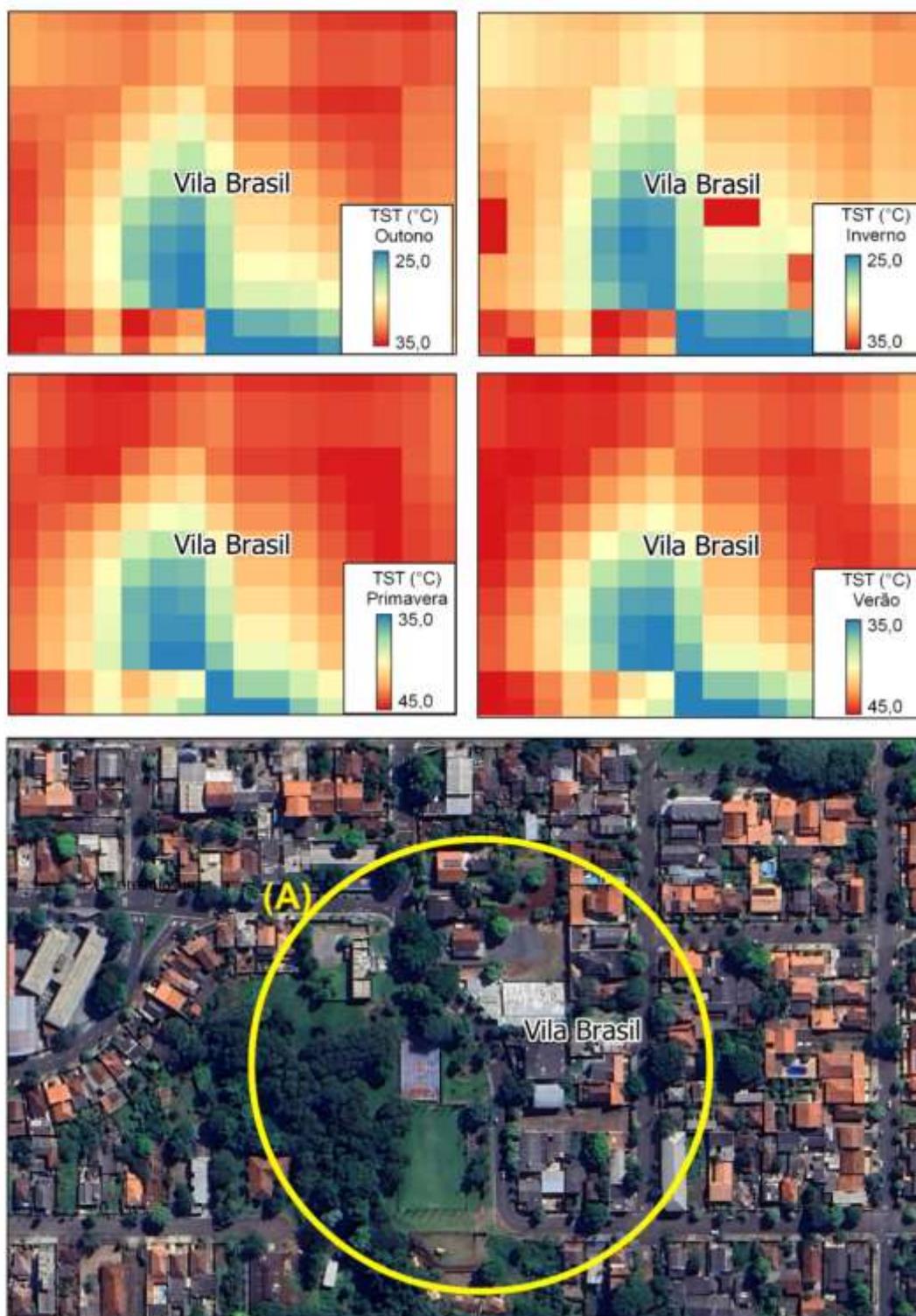
Figura 10- Bosque da Catedral Metropolitana (Círculo A). Áreas construídas (Círculo B) do Centro Histórico.



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Vila Brasil, é possível identificar uma pequena mancha azul que representa uma praça próxima à UBS Vila Brasil (Figura 11-Círculo A), que também apresenta valores de TST menores do que a região do seu entorno.

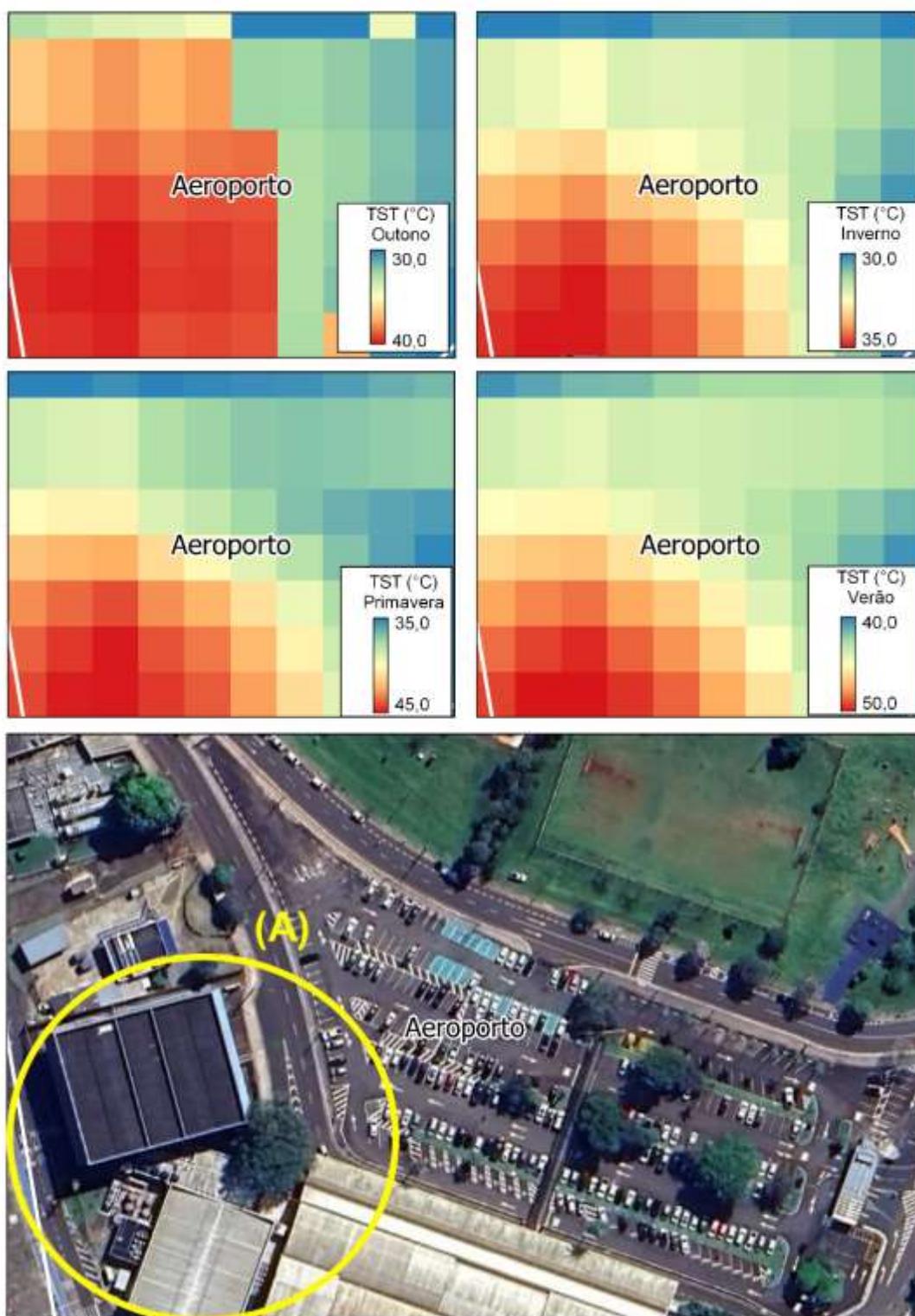
Figura 11- Praça UBS (Círculo A) no Bairro Vila Brasil.



Fonte: Autoria própria (2023)

No Aeroporto de Londrina, próximo ao local de estacionamento das aeronaves é possível observar uma coloração vermelha mais intensa (Figura 12 – Círculo A).

Figura 12- Área construída (Círculo A) no Bairro Aeroporto



Fonte: Autoria própria (2023)

Percebe-se que a maioria dos mapas de TST para as quatro estações do ano (Figura 7- A, B, C e D) apresenta tonalidades alaranjadas e esbranquiçadas. No entanto, é possível observar alguns pontos com cores mais intensas, que tendem para o espectro vermelho, indicando temperaturas mais altas.

Gartland (2010) relata que em muitas superfícies urbanas, como coberturas e calçadas, podem atingir temperaturas 27 a 50°C mais quentes que o ar. A autora relata ainda que uma típica cidade de latitude média dos Estados Unidos cujas temperaturas do ar variam de 13 a 38°C no verão, chegam a registrar temperaturas de superfície entre 43 e 88°C.

Ao analisar os mapas de TST, no geral, pode-se observar que as áreas apresentadas com tonalidades mais amenas tendendo para o azul (Círculo A nas Figuras 8, 9, 10 e 11), estão associadas a áreas verdes, como praças, bosques e fundos de vale. Essas regiões apresentam temperaturas mais baixas devido à presença de áreas verdes que proporcionam maiores taxas evapotranspiração e favorecem a troca de calor latente entre a superfície e a atmosfera (WILSON et al., 2003), contribuindo para um ambiente mais fresco.

Por outro lado, as regiões que tendem para o espectro vermelho, indicando temperaturas mais altas, estão associadas aos materiais que compõem as áreas construídas (Figura 9-Círculos B e C, Figura 10-Círculo B e Figura 12-Círculo A). Como apontado por Quarttrochi e Luvall (2005), edifícios urbanos e principais vias de transporte, feitos de materiais como metal, asfalto e concreto, que possuem superfícies não porosas, têm a capacidade de absorver e reter mais calor devido à sua emissividade. Esse fenômeno contribui para o aumento das temperaturas na região.

Para compreender a transmissão de calor por radiação, é importante considerar as propriedades termofísicas dos materiais que compõem as superfícies (MASCARÓ, 2012). Essas propriedades incluem o coeficiente de absorção da radiação solar, as emissividades de todas as superfícies em contato com o ar, a condutância térmica e o calor específico, além da espessura dos materiais.

Segundo Gartland (2010), os dosséis urbanos são compostos por diversos materiais com características específicas de capacidade calorífica, condutividade térmica e por consequência de difusividade térmica. A difusividade é um indicador importante para avaliar a facilidade de penetração do calor no material. Altos valores de difusividade térmica presentes nos materiais produzidos pelo homem ampliam o

armazenamento de calor durante o dia e sua lenta liberação durante a noite (ALVES; VECCHIA, 2012). Na Tabela 2 a seguir apresenta valores de difusividade para uma variedade de materiais.

Tabela 2- Propriedades radioativas de materiais do meio urbano

Superfície	Difusividade ($m^2/s \times 10^{-6}$)
Solo de turfa seco	0,10
Madeira densa	0,13
Solo de argila seca	0,18
Tábua de gesso	0,18
Madeira leve	0,20
Solo arenoso seco	0,23
Asfalto	0,39
Telha cerâmica	0,47
Tijolo	0,61
Rocha	0,97
Aço	13,56

Fonte: Adaptado de Gartland (2010)

É importante notar que as áreas urbanas têm uma alta capacidade de absorção de energia e refletem menores quantidades de energia solar incidente do que materiais comumente encontrados em áreas rurais.

5.2 Análise específica das temperaturas mínimas e máximas por estação e bairro

Para examinar de forma mais detalhada as variações sazonais de temperatura de superfície, foi realizada uma análise específica das temperaturas mínima e máxima em cada estação para todos os bairros investigados. As Tabelas 3, 4, 5 e 6 a seguir apresentam os valores registados para cada estação, fornecendo uma visão abrangente das variações térmicas ao longo das estações e entre os diferentes bairros da região central de Londrina.

5.2.1 Outono

Na Tabela 3 apresenta-se os valores mínimos, médios e máximos de temperatura de superfície registrados nos 16 bairros amostrados na estação do outono em 2018.

Tabela 3- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação outono/2018

Bairros	Mínima	Média	Máxima
Vila Recreio	29,33	34,37	36,67
Vila Nova	31,25	34,79	37,15
Vila Casoni	19,94	34,90	39,07
Shangri-lá	30,99	34,62	36,99

(continua)

Tabela 3- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação outono/2018
(conclusão)

Bairros	Mínima	Média	Máxima
Presidente	26,62	32,49	35,23
Higienópolis	25,92	32,14	34,85
Ipiranga	30,40	32,17	35,61
Petrópolis	25,30	31,77	39,02
Vila Brasil	28,85	33,35	36,04
Guanabara	26,05	32,90	40,01
Quebec	23,80	32,69	37,21
Centro Histórico	25,66	33,06	40,00
Champagnat	27,79	32,84	36,97
Aeroporto	30,28	33,51	37,33
Brasília	31,31	34,18	36,26
Palhano	24,83	31,46	35,17

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao analisar os dados de temperatura durante a estação do outono, notou-se uma variação nas temperaturas mínimas, que se estabeleceram entre 19,94°C e 31,31°C. As temperaturas máximas, por sua vez, exibiram uma faixa variando de 34,85°C e 40,01°C. A média das temperaturas de superfície se situou entre 31,46°C e 34,90°C.

O bairro que apresentou a temperatura mínima mais baixa foi o Vila Casoni com 19,94°C, e a temperatura máxima mais alta foi o bairro Guanabara com 40,01°C.

5.2.2 Inverno

Na Tabela 4 são mostrados os valores mínimos, médios e máximos de temperatura de superfície nos 16 bairros amostrados durante a estação do inverno em 2018.

Tabela 4-Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação inverno/2018
(continua)

Bairros	Mínima	Média	Máxima
Vila Recreio	25,87	30,33	35,39
Vila Nova	26,69	31,58	34,41
Vila Casoni	24,43	32,08	37,51
Shangri-lá	27,84	31,48	34,48
Presidente	23,44	28,42	32,17
Higienópolis	22,64	28,59	31,94
Ipiranga	26,23	28,48	32,03
Petrópolis	22,69	28,47	33,87
Vila Brasil	25,93	29,55	33,73
Guanabara	22,68	29,28	32,73
Quebec	22,81	28,98	33,00
Centro Histórico	24,94	30,40	34,68
Champagnat	23,36	28,72	33,16

Tabela 4- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação inverno/2018
(conclusão)

Bairros	Mínima	Média	Máxima
Aeroporto	26,53	29,66	34,73
Brasília	27,46	30,38	34,04
Palhano	25,04	28,36	31,99

Fonte: Autoria própria (2023)

Durante o inverno, verificou-se uma variação da temperatura mínima entre 22,64°C e 27,84°C. As temperaturas máximas variaram entre 31,94°C e 37,51°C. Em termos de média, as temperaturas de superfície oscilaram entre 28,36°C e 31,58°C.

O bairro que apresentou a temperatura mínima mais baixa foi o Higienópolis com 22,64°C. E o bairro com a temperatura máxima mais alta foi o Vila Casoni com 37,51°C.

5.2.3 Primavera

Na Tabela 5, são exibidos os valores mínimos, médios e máximos de temperatura de superfície nos 16 bairros amostrados durante a estação da primavera em 2018.

Tabela 5- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação primavera/2018

Bairros	Mínima	Média	Máxima
Vila Recreio	34,09	40,97	43,60
Vila Nova	37,16	41,61	44,29
Vila Casoni	30,31	42,04	46,68
Shangri-lá	33,31	41,04	43,45
Presidente	29,69	39,83	42,96
Higienópolis	27,44	39,50	43,25
Ipiranga	37,87	39,74	42,37
Petrópolis	27,89	38,58	42,62
Vila Brasil	32,99	40,67	43,39
Guanabara	27,80	39,06	43,79
Quebec	27,89	39,80	43,92
Centro Histórico	35,19	40,31	44,01
Champagnat	29,35	39,47	43,11
Aeroporto	36,59	40,49	44,92
Brasília	37,58	41,35	43,69
Palhano	32,39	38,02	43,40

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao examinarmos os registros de temperatura no período da primavera, observou-se que as temperaturas mínimas apresentaram uma variação entre 27,44°C e 37,87°C. Já as temperaturas máximas mostraram uma faixa entre 42,37°C e 46,68°C. A média das temperaturas de superfície ficou entre 38,02°C e 42,04°C.

O bairro que apresentou a temperatura mínima mais baixa foi o Higienópolis com 27,44°C e o bairro com a temperatura máxima mais alta foi o Vila Casoni com 46,68°C.

5.2.4 Verão

Na Tabela 6, são apresentados os valores mínimos, médios e máximos de temperatura de superfície nos 16 bairros amostrados durante a estação do verão em 2018.

Tabela 6- Temperatura de Superfície (mínima, média e máxima) para a estação verão/2018

Bairros	Mínima	Média	Máxima
Vila Recreio	35,22	42,55	45,46
Vila Nova	38,12	43,27	45,63
Vila Casoni	33,56	42,85	47,85
Shangri-lá	38,40	41,99	44,96
Presidente	31,49	40,93	44,02
Higienópolis	30,26	40,64	43,95
Ipiranga	39,83	41,47	43,80
Petrópolis	30,38	39,79	43,86
Vila Brasil	35,23	42,00	44,59
Guanabara	30,23	39,74	43,92
Quebec	30,30	40,91	45,22
Centro Histórico	36,29	41,65	46,71
Champagnat	33,48	41,18	44,35
Aeroporto	37,42	41,38	46,71
Brasília	37,35	42,07	44,29
Palhano	33,71	39,02	42,73

Fonte: Autoria própria (2023)

Observando os valores de temperatura no verão, pode-se notar que as temperaturas mínimas variaram entre 30,23°C e 39,83°C, enquanto as temperaturas máximas ficaram entre 42,73°C e 47,85°C. Em média, as temperaturas de superfície se situaram entre 39,02°C e 43,27°C.

O bairro com a menor temperatura mínima registrada foi o Guanabara com 30,23°C, e maior máxima foi o bairro Vila Casoni com 47,85°C.

Avaliando-se as características dos mapas de TST com os valores de temperatura gerados, nota-se que o bairro que apareceu mais vezes como maior temperatura máxima foi o Vila Casoni no verão (47,84°C), primavera (46,68°C) e inverno (37,51°C). E com menor temperatura mínima foi o Higienópolis na primavera (27,44°C) e inverno (22,64°C).

Nota-se também que o Bairro Ipiranga apresentou o maior valor de temperatura mínima no verão (39,83°C) e primavera (37,87°C), e na primavera máxima, registrou o menor valor de temperatura (42,37°C).

O bairro Vila Casoni é caracterizado por uma região com construções, vias pavimentadas e um pequeno trecho de fundo de vale que se estende do bairro Vila Recreio (Figura 13 – Círculo A). Através de imagens de satélite, é possível observar uma área verde ao redor do terminal rodoviário de Londrina (Figura 13 – Círculo B). Além disso, existe uma pequena praça a aproximadamente 2,4 km do terminal rodoviário (Figura 13 – Círculo C).

Figura 13-Imagem de Satélite do Bairro Vila Casoni



Fonte: Google Earth (2023)

No outono, foi o bairro que apresentou a menor temperatura mínima como mostrado anteriormente na Tabela 3. Ao analisar o mapa de TST do outono para o Bairro Vila Casoni (Figura 9 – Círculo A), pode-se observar que a região com maior coloração azul, indicando temperaturas mínimas mais baixas, está localizada na praça do terminal.

A menor temperatura mínima registrada para esse bairro no outono pode ser atribuída a vários fatores. Tanto o fundo de vale quanto as áreas construídas podem permitir a retenção do ar frio durante à noite. O fundo de vale desempenha um papel na ocorrência desse fenômeno, uma vez que essas áreas geograficamente favorecem o acúmulo de ar frio. Elas agem como bolsões de ar frio, resultando em temperaturas baixas. Mesmo que a vegetação do bairro não seja elevada, a configuração topográfica do fundo de vale pode ser suficiente para criar um microclima com temperaturas mínimas mais baixas durante o outono.

Já nas demais estações (inverno, primavera e verão), o bairro Vila Casoni apresentou a maior temperatura máxima, provavelmente devido à presença de áreas construídas que retém calor e contribuem para o aquecimento da região durante o dia. Angelini et al., 2015 observa que a temperatura de superfície é maior em áreas de construção pelo fato dessas áreas armazenarem maior quantidade de energia e toda a energia disponível ser transformada em calor sensível. No Supermercado Condor por exemplo, a TST apresentou-se bem alta comparada aos outros elementos do bairro, possivelmente pela composição de seu material.

No bairro Guanabara, que abrange uma parte do Lago Igapó, com ruas pavimentadas, edifícios e áreas residenciais (Figura 14), no outono foi registrado o maior valor de temperatura máxima. Observando o mapa de TST para o bairro Guanabara no Outono (Figura 15), é possível perceber que a maior temperatura se concentra nas áreas construídas pelas casas Figura 15-Círculo B, enquanto a presença do lago parece ter uma influência menor na temperatura em comparação com as áreas residenciais. É interessante notar que na Figura 15-Círculo A, há uma região com muitos prédios, que no mapa de TST apresenta-se com uma mancha esbranquiçada e alguns pontos azulados, indicando temperaturas mais amenas em comparação com as áreas das casas.

Figura 14-Imagem de Satélite do Bairro Guanabara

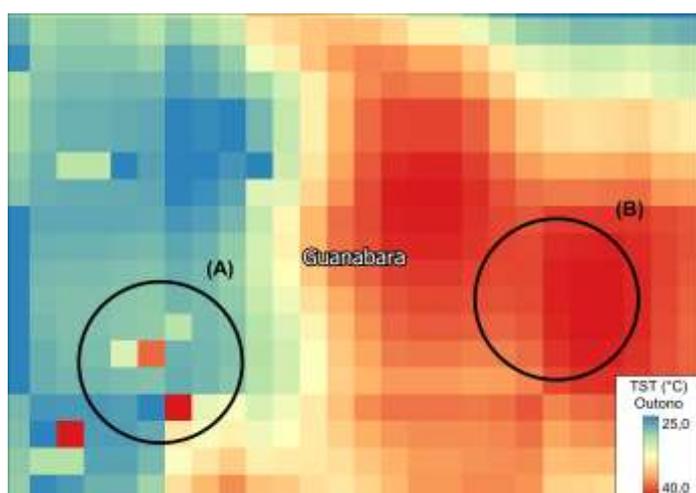


Fonte: Google Earth (2023)

Figura 15- Bairro Guanabara. (A) Temperatura de Superfície. (B) Imagem de Satélite

(A) Temperatura de Superfície do bairro Guanabara no Outono

(B) Imagem de Satélite do Bairro Guanabara

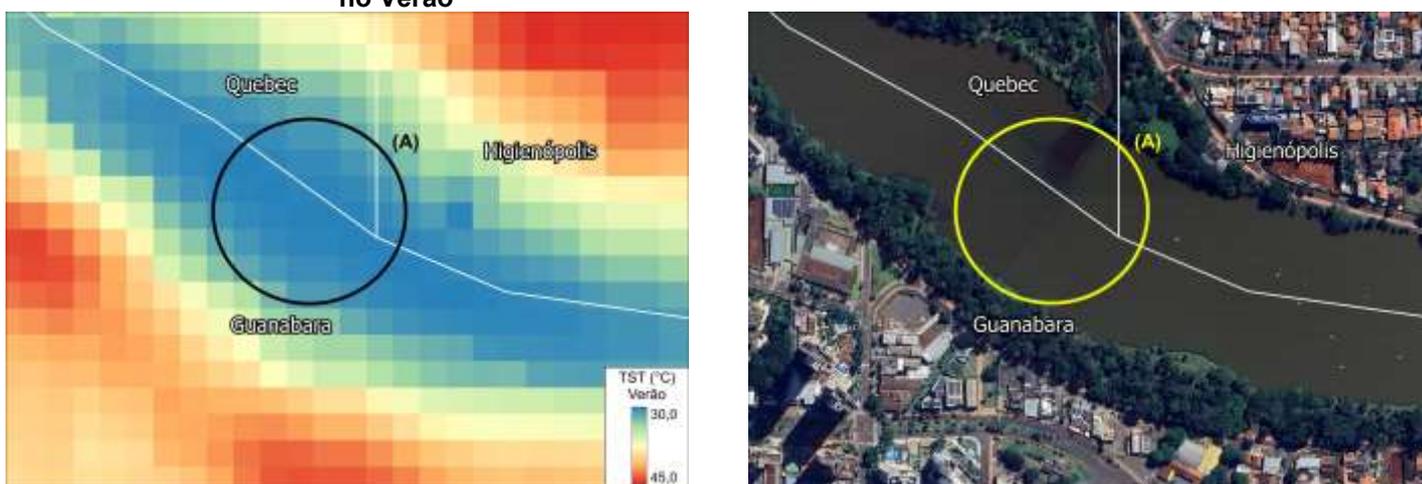


Fonte: Autoria própria (2023)

No verão, por outro lado, o bairro Guanabara teve a menor temperatura mínima, o que pode ser atribuído à influência do lago igapó Figura 16 – Círculo A e a uma possível circulação de brisas mais frias vindas da água.

Oke (1987) afirma que a reflexão da radiação de ondas curtas de um volume de ar de um edifício depende tanto do albedo das superfícies refletoras individuais quanto de seu arranjo geométrico.

Figura 16- Bairro de Guanabara. (A) Temperatura de Superfície. (B) Imagem de Satélite
(A) Temperatura de Superfície do Bairro Guanabara no Verão **(B) Imagem de Satélite do Bairro Guanabara**



Fonte: Autoria própria (2023)

O bairro Higienópolis está localizado entre dois fundos de vale e também inclui uma parte do Lago Igapó. A maior parte do bairro é composta por áreas construídas (Figura 17). No inverno, registrou a menor temperatura mínima, provavelmente devido à sua localização próximo aos fundos de vale, que favorece o acúmulo de ar frio (Figura 18 – Círculo A, Círculo B). Na primavera, também apresentou a menor temperatura mínima, possivelmente devido a fatores semelhantes (Figura 19 - Círculo A).

Figura 17-Imagem de Satélite do Bairro Higienópolis

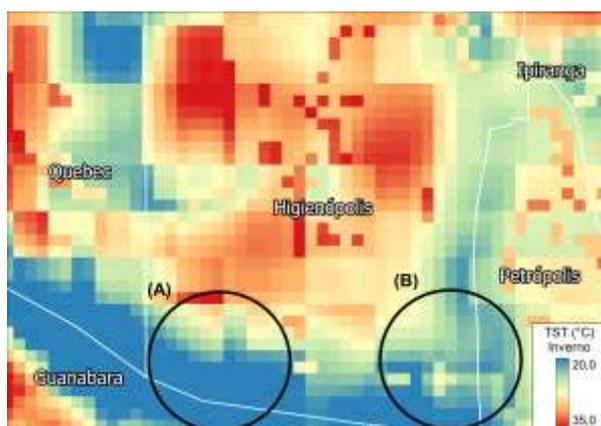


Fonte: Google Earth (2023)

Figura 18- Bairro Higienópolis. (A) Temperatura de Superfície. (B) Imagem de Satélite

(A) Temperatura de Superfície do Bairro Higienópolis no Inverno

(B) Imagem de Satélite do Bairro Higienópolis



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 19- Bairro Higienópolis. (A) Temperatura de Superfície. (B) Imagem de Satélite
(A) Temperatura de Superfície do Bairro **(B) Imagem de Satélite do Bairro Higienópolis**
Higienópolis na Primavera **na Primavera**

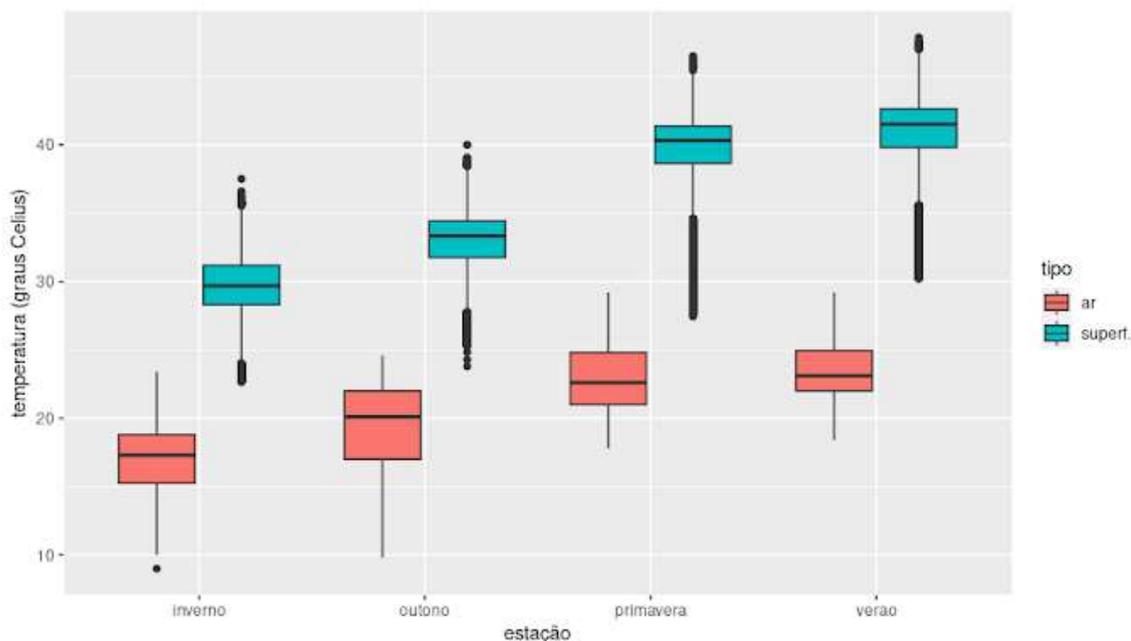


Fonte: Autoria própria (2023)

Considerando as variações de temperatura de superfície nos bairros, nota-se que a variação observada nas áreas urbanas está relacionada a diversos fatores. A orientação das ruas pode resultar em diferenças na incidência do ângulo solar, enquanto as características dos materiais de construção e a geometria das ruas, também desempenham um papel significativo. E essa relação específica determina a capacidade de penetração da energia solar no interior dos bairros. Assim, esses fatores combinados tornam complexa a definição de um comportamento climático previsível nesse tipo de ambiente.

Fatores meteorológicos como vento, umidade e temperatura do ar, também podem contribuir para as variações observadas. Na Figura 20 a seguir, é apresentado um gráfico de caixas comparando a temperatura do ar (INMET,2018) e a temperatura de superfície no ano de 2018, por estação do ano, em que percebe-se que a TST é proporcionalmente maior à temperatura do ar em todas as estações do ano para o período avaliado.

Figura 20- Comparação entre as temperaturas do ar e de superfície nas estações do ano em 2018



Fonte: Autoria própria (2023)

A relação entre a temperatura de superfície terrestre (TST) e a temperatura do ar (TA) é um aspecto importante a ser considerado ao analisar as variações climáticas. Segundo Quarttrochi e Luvall (2005), essas duas variáveis estão altamente correlacionadas, o que significa que, em geral, quando a temperatura de superfície aumenta, a temperatura do ar também tende a aumentar.

No entanto, é importante observar que a temperatura de superfície pode variar em uma faixa maior de temperatura em comparação com a temperatura do ar. Isso ocorre devido a diversos fatores que influenciam a TST, como as características do ambiente urbano, a radiação solar incidente, os materiais de construção e a presença de vegetação.

De acordo com Oke (1987), os materiais da superfície com propriedades radioativas diferentes alteram o balanço de energia e, conseqüentemente, modificam a temperatura do ar, gerando fenômenos com as ilhas de calor urbano.

Ao comparar a temperatura de superfície com a temperatura do ar no ano de 2018, é possível constatar que a TST apresenta uma maior variabilidade. Isso significa que, mesmo com uma determinada variação na temperatura do ar, a temperatura de superfície pode mostrar variações mais acentuadas. Essa diferença ocorre devido à influência de fatores locais e específicos do ambiente, como a absorção e retenção

de calor pelos materiais de construção, a presença de áreas verdes ou corpos d'água, a configuração urbana e a exposição solar.

Observando o gráfico de caixas e considerando a citação de Oke (1987) sobre a temperatura de superfície e do ar, pode-se considerar que a TST e a TA estão proporcionais. Lourenço e Ferreira (2020) afirmam que “A TST, embora influenciada pela TA, também está relacionada às características espectrais das superfícies e condições climáticas, que influenciam os fluxos de calor e determinam o balanço de energia nas superfícies”.

5.3 Análise da densidade de árvores por bairro

Nessa seção, explorou-se a distribuição de árvores por bairros por meio de mapas temáticos de densidade. Na Figura 21 apresenta-se dois mapas, um sem peso, em que todas as árvores são consideradas como se tivesse a mesma influência e outro com um peso de “altura total”, para analisar a influência do tamanho das árvores na relação com TST.

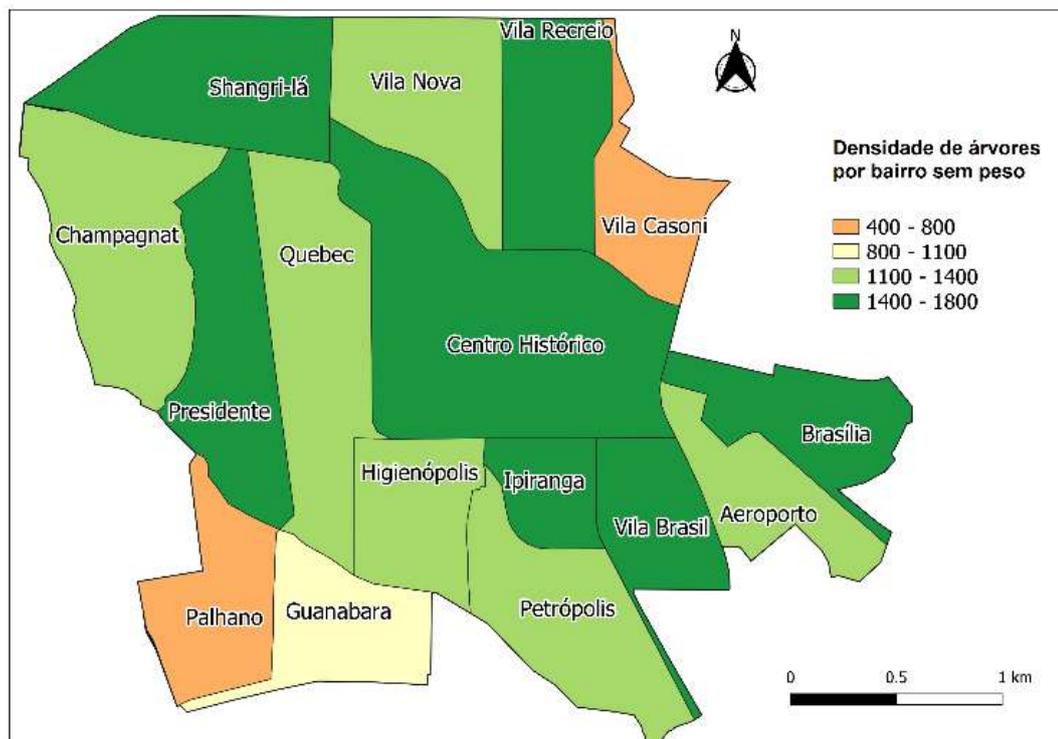
Observa-se que na Figura 21-A é fornecida a densidade de árvores inventariadas por bairro. Os bairros com menor densidade de árvores são Vila Casoni (697), Palhano (729) e Guanabara (1047). E com maior densidade de árvores são Vila Brasil (1759), Centro Histórico (1671) e Ipiranga (1614).

Já na Figura 21-B, é apresentado o mapa temático da densidade de árvores ponderadas pelo peso “altura total”. Podemos notar que os bairros com menor índice de árvores são Palhano (4047), Vila Casoni (4346), Guanabara (6347). Por outro lado, os bairros com maior densidade considerando o peso “altura total” são Centro histórico (11469), Ipiranga (10213) e Vila Brasil (9623).

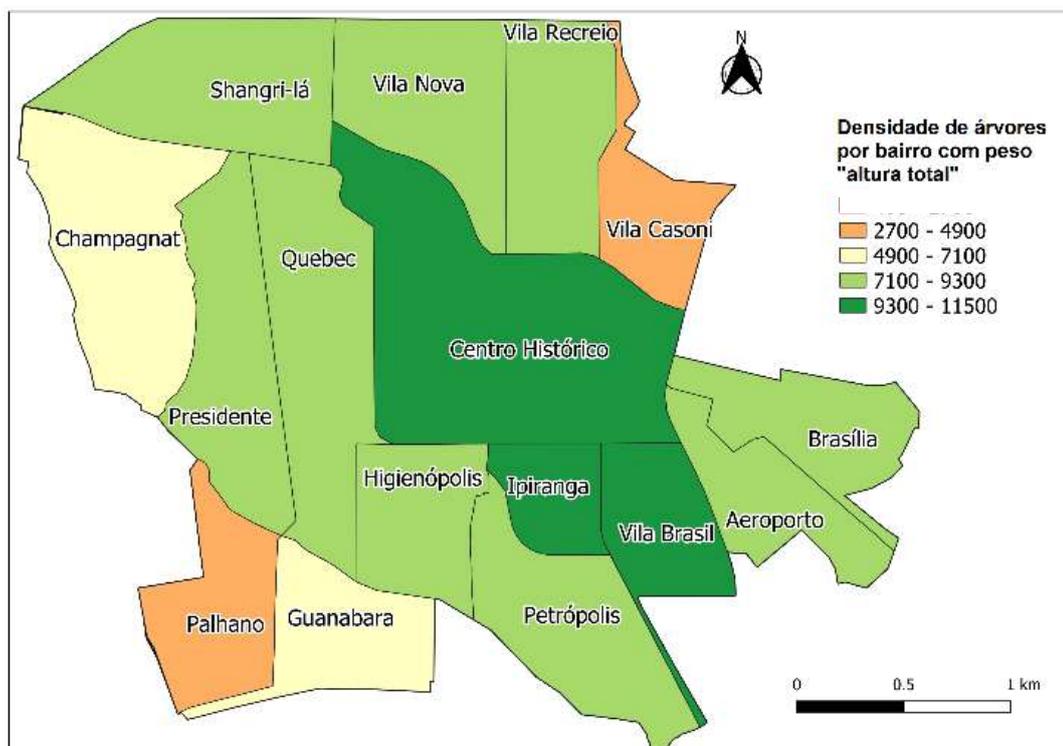
É importante ressaltar que a densidade de árvores no bairro pode contribuir para amenizar o impacto do calor, fornecendo sombra e diminuindo a temperatura do ar local. No entanto, outros fatores como a configuração urbana, a presença de superfícies impermeáveis e a influência de ilhas de calor, podem estar contribuindo para as altas temperaturas mínimas registradas no bairro.

Figura 21- A: Mapa temático de densidade de árvores por bairro sem peso. B: Mapa temático de densidade de árvores por bairro com peso “altura total”

(A) Mapa temático da densidade de árvores por bairro sem peso



(B) Mapa temático da densidade de árvores por bairro com peso “altura total”



Fonte: Autoria própria (2023)

Na primavera máxima, o Bairro Ipiranga registrou o menor valor de temperatura (42,37°C). Isso pode indicar que a presença de uma alta densidade de árvores no bairro está contribuindo para a redução das temperaturas máximas, o que é positivo em termos de conforto térmico e mitigação dos efeitos de calor.

O bairro Vila Brasil é o 3º bairro com menor área (0,849 km²), mas foi o que apresentou maior densidade de árvores por bairro (1759), e o 3º com maior densidade de árvores com o peso “altura total”.

Apesar da alta densidade de árvores, o bairro não registrou temperaturas extremamente altas ou baixas em comparação com os outros bairros analisados. Essa estabilidade térmica pode ser atribuída à presença de uma quantidade significativa de árvores, que atua no controle da temperatura local, mas outros fatores também podem influenciar, como a orientação e a configuração urbana do bairro.

Por outro lado, o Bairro Vila Casoni com sua extensão de 0,745 km² sendo o 2º menor bairro dos 16 analisados, é o bairro com o menor número registrado de árvores por bairro, e o 2º com menor densidade de árvores com o peso “altura total”.

Cabe ressaltar que os dados completos da densidade de árvores por bairro, estão disponíveis no Apêndice (A) deste documento.

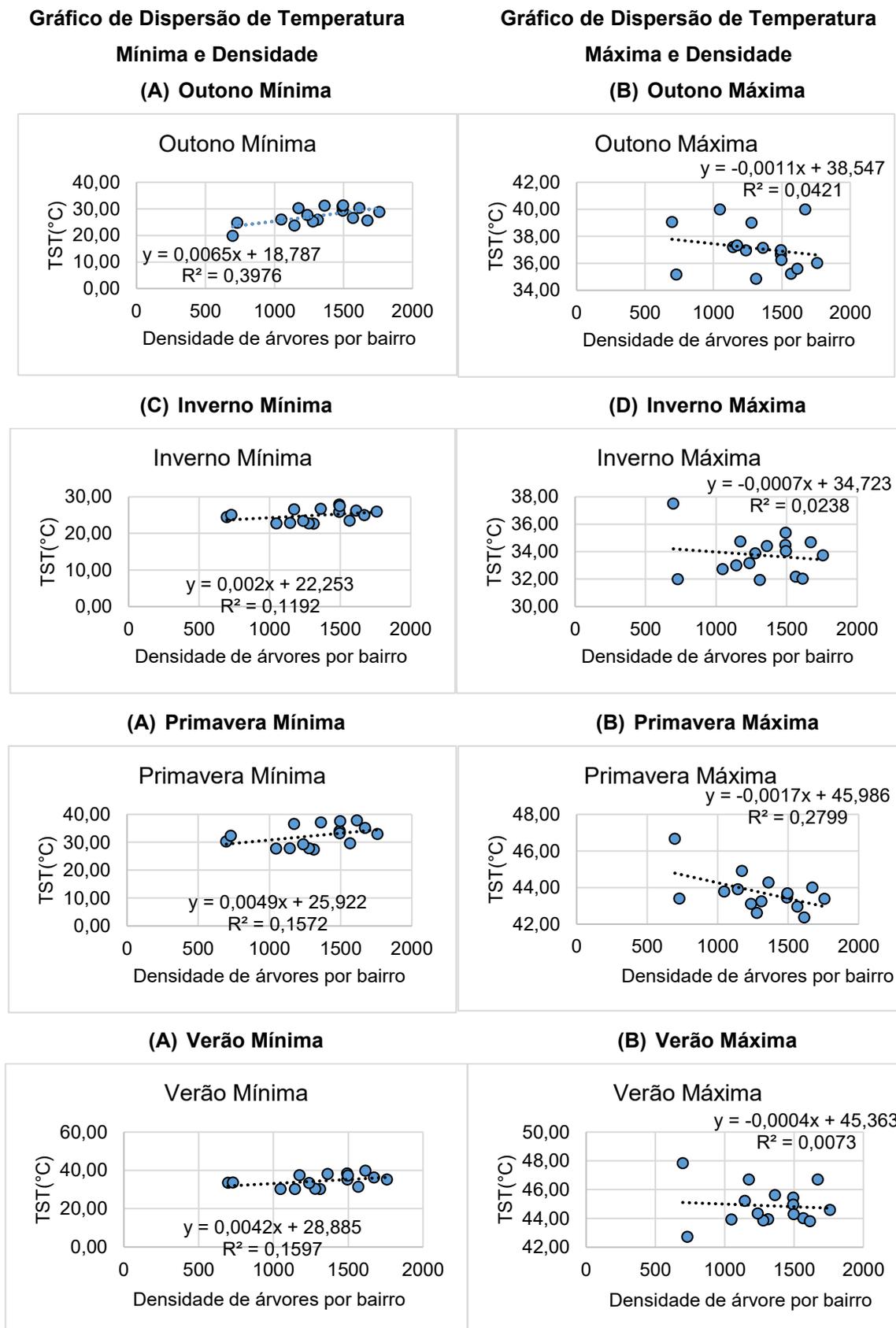
A partir desses índices de densidade de árvores por bairro e os mapas temáticos, foi avaliada a relação entre a densidade de árvores e a TST, investigando possíveis correlações e impactos desses fatores no microclima dos bairros.

5.4 Regressão entre temperatura de superfície e densidade

Esta seção apresenta os resultados da regressão linear entre a TST e a densidade de árvores. Para visualizar essa relação, foram avaliados gráficos de dispersão que nos permitem observar possíveis padrões de tendências entre as variáveis.

Na Figura 22 são apresentados os gráficos de dispersão que ilustram a relação linear entre a TST (mínima e máxima) com a densidade de árvores por bairro sem atribuição de peso.

Figura 22- Gráficos de dispersão da análise de regressão linear simples entre os valores de TST e Densidade para cada unidade amostral analisada (SEM PESO)



Fonte: Autoria própria (2023)

Observando os gráficos da Figura 22, pode-se observar que a relação para a TST mínima de cada estação com a Densidade de árvores por bairro teve uma relação crescente nas 4 estações, indicando uma tendência de aumento na TST mínima à medida em que a densidade de árvores aumenta.

Para a estação Outono, a regressão linear revelou uma correlação positiva moderada, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,40. Isso significa que aproximadamente 40% da variabilidade na densidade de árvores pode ser explicada pela variação na TST mínima.

Nas estações Inverno, Primavera e Verão, encontra-se uma correlação positiva fraca entre a TST mínima e a densidade de árvores com um coeficiente de determinação de 0,12, 0,16 e 0,16 respectivamente.

Já a relação da TST máxima para as quatro estações com a Densidade de árvores por bairro apresentou tendência inversamente proporcional, indicando que à medida que a densidade de árvores aumenta, a TST máxima tende a diminuir. No entanto, esse ajuste linear apresentou coeficiente de determinação baixo em todas as estações. Na primavera encontrou-se o maior valor de R^2 , com 0,28, indicando que 28% da variabilidade na TST pode ser explicada pela variação da densidade de árvores, enquanto nas estações Outono, Inverno e Verão, os valores de R^2 foram de 0,04, 0,02, e 0,001 respectivamente.

Na Figura 23 são apresentados os gráficos de dispersão que mostram a relação linear entre a temperatura de superfície (mínima e máxima) com a densidade de árvores por bairro com um peso de “altura total”.

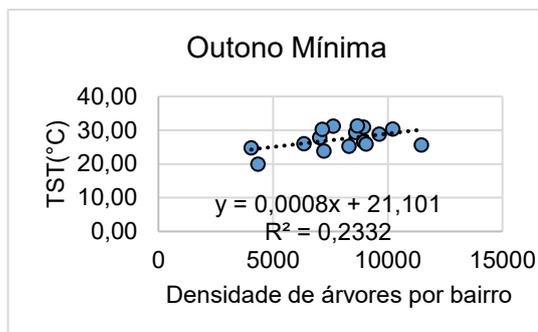
Pode-se notar que a relação entre a TST mínima e a densidade de árvores por bairro com o peso “altura total” foram as mesmas nas quatro estações do ano. Houve uma tendência bem discreta de aumento na TST mínima conforme a densidade de árvores aumentava.

Figura 23- Gráfico de dispersão da análise de regressão linear simples entre os valores de TST e Densidade para cada unidade amostral analisada (COM PESO)

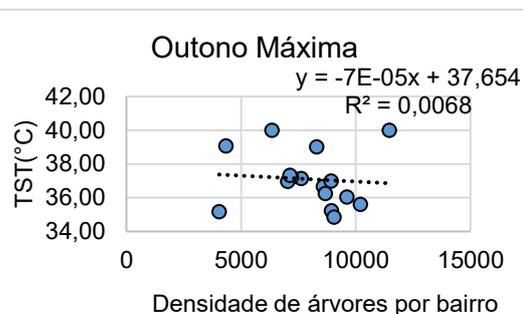
**Gráfico de Dispersão de Temperatura
Mínima e Densidade**

**Gráfico de Dispersão de Temperatura
Máxima e Densidade**

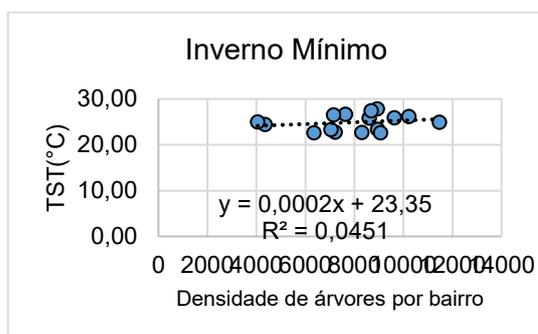
(A) Outono Mínima



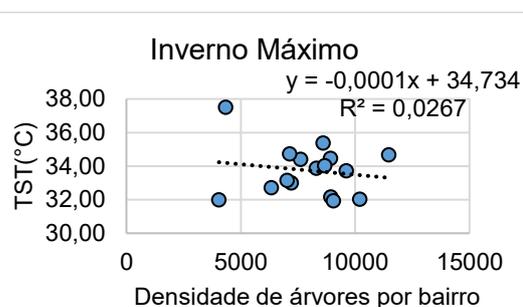
(B) Outono Máxima



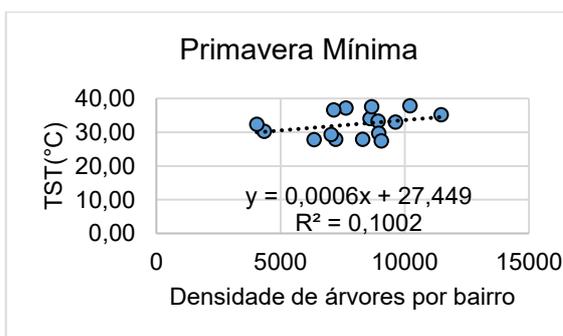
(C) Inverno Mínima



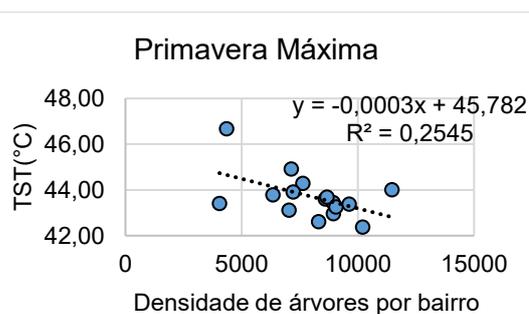
(D) Inverno Máxima



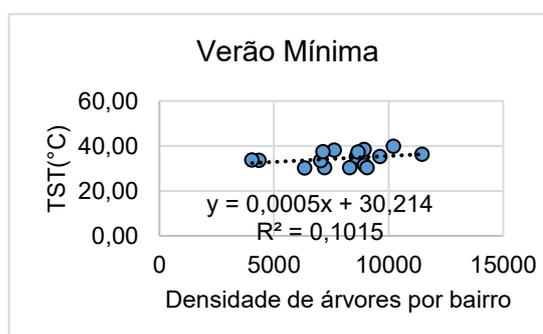
(E) Primavera Mínima



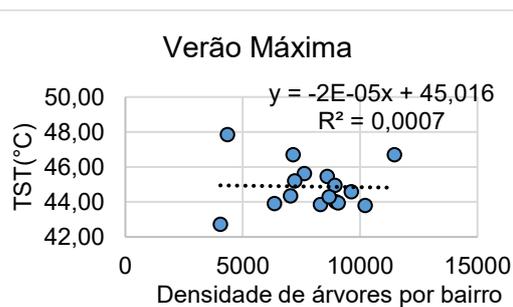
(F) Primavera Máxima



(G) Verão Mínima



(H) Verão Máxima



Fonte: Autoria própria (2023)

Na estação outono, o coeficiente de relação (R^2) foi de 0,23, significando que 23% da variabilidade na densidade de árvores pode ser explicada pela variação na TST mínima. Enquanto nas estações Inverno, Primavera e Verão, o R^2 foi de 0,05, 0,10 e 0,10 nesta ordem.

Os gráficos de TST máxima para cada estação em relação a densidade mostraram uma regressão linear negativa, o maior R^2 foi na primavera com 0,25, isso é, 25% da variabilidade na densidade de árvore. Já as estações Outono, Inverno e Verão foram 0,001, 0,03, 0,00.

5.5 Análise da correlação entre temperatura e densidade de árvores

Na Tabela 7 apresenta-se os valores da correlação de Pearson entre a temperatura mínima e máxima, e a densidade de árvores por bairro, considerando tanto os dados sem peso quanto os dados de densidade com o peso de “altura total”.

Tabela 7- Coeficiente de correlação entre temperatura de superfície terrestre com a densidade de árvores por bairro no ano de 2018

Estações do Ano	Correlação sem peso	R^2	Correlação com peso	R^2
Outono				
Mínima	0,63	0,40	0,48	0,23
Máxima	-0,21	0,04	-0,08	0,001
Inverno				
Mínima	0,35	0,12	0,21	0,05
Máxima	-0,15	0,02	-0,16	0,03
Primavera				
Mínima	0,40	0,16	0,32	0,10
Máxima	-0,53	0,28	-0,50	0,25
Verão				
Mínima	0,40	0,16	0,32	0,10
Máxima	-0,09	0,001	-0,03	0,00

Fonte: Autoria própria (2023)

As estações que apresentaram o maior valor de R^2 na correlação sem peso foram Outono Mínima (0,4) 40%, Primavera Máxima (0,28) 28%, Primavera Mínima (0,16) 16% e Verão Mínima (0,16) 16%.

Durante o outono, foi observada uma correlação positiva mais expressiva (0,63) entre a temperatura mínima e a densidade de árvores. Na primavera, foi encontrada uma correlação moderadamente positiva (0,4) entre a temperatura mínima e a densidade de árvores, porém a temperatura máxima apresentou uma correlação negativa com valor um pouco mais alto em termos absolutos (-0,53).

Para a correlação com peso, as estações com maiores valores de R^2 foram Primavera Máxima (0,25) 25%, Outono Mínima (0,23) 23%, Primavera Mínima (0,10)

10% e Verão Mínima (0,10) 10%. As correlações foram semelhantes às correlações sem peso, mas em geral, os valores foram menores.

No outono, a temperatura mínima mostrou uma correlação positiva moderada (0,48), e a temperatura máxima apresentou um valor próximo a zero, indicando uma relação praticamente inexistente (-0,08). Na primavera, observou-se uma correlação positiva moderada entre a temperatura mínima e a densidade de árvores (0,32), enquanto a temperatura máxima apresentou uma correlação negativa um pouco mais alta em termos absolutos (-0,50).

No geral, pode-se observar uma correlação positiva entre a TST mínima e a Densidade de árvores para todas as estações, tanto na correlação sem peso quanto na correlação com peso. Além disso, foram notadas correlações negativas entre TST máxima e a Densidade de árvores por bairro para todas as estações, tanto na contagem das árvores sem peso quanto as com peso.

Na primavera máxima, tanto na correlação sem peso quanto com peso, foram encontrados os menores valores de correlação, sendo -0,53 e -0,50. Já no Outono Mínimo, tanto na correlação sem peso quanto com peso, identificou-se os maiores valores positivos, de 0,63 e 0,48.

Um dos fatores que pode ter influenciado na baixa correlação observada é a ausência da avaliação quantitativa de áreas verdes, como praças de fundos de vale, uma vez que foram consideradas para o cálculo da densidade apenas as árvores viárias. Visualmente foi possível observar nas comparações entre TST e imagem de satélite que as áreas verdes influenciam diretamente na TST, o que mostra que em uma análise mais completa elas devem ser incluídas.

As correlações encontradas entre vegetação e temperatura de superfície indicaram uma relação negativa em diversos estudos. Pessi et al. (2019) verificaram uma correlação negativa moderada entre TST e índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que expressa densidade de vegetação, em quatro unidades amostrais analisadas. Da mesma forma, Moreira et al. (2020) encontraram um coeficiente de determinação $R^2 = 0,47$, evidenciando uma regressão negativa entre a temperatura e a cobertura vegetal.

Paula, Pimentel e Ferreira (2016) observaram uma correlação negativa inversamente proporcional entre a variável vegetação e a temperatura, ou seja, quanto menor a cobertura vegetal, maiores os valores térmicos registrados. Carvalho (2021) analisou a correlação de Pearson entre as variáveis dendométricas como (DAP, altura

total, área basal) e os valores médios de Temperatura de algumas espécies comumente utilizadas na arborização viária urbana, porém não foram encontradas altas correlações. Para a altura total das árvores por exemplo, encontrou valores de -0,18 para a temperatura mínima e 0,14 para a máxima.

Segundo Pessi et al. (2019) (apud VOOGT; OKE, 2003), a correlação negativa entre TST e NDVI é atribuída ao processo de evapotranspiração, que reduz a temperatura de superfície. Esses estudos indicam que áreas com menor cobertura vegetal tendem a apresentar temperaturas mais elevadas.

Os resultados das correlações com e sem peso mostraram que a densidade de árvores por bairro tem uma relação fraca com a temperatura de superfície em várias estações. A primavera e o outono parecem apresentar correlações um pouco mais fortes, sugerindo que a densidade de árvores pode ter uma influência maior nessas estações.

Ao comparar as correlações sem peso e com peso, observa-se que a correlação sem peso apresentou valores mais próximos de 1 e -1, indicando uma relação mais forte entre as variáveis analisadas, demonstrando que a utilização da altura da árvore como fator de ponderação não apresentou ajustes mais expressivos para os dados analisados.

De acordo com Carvalho (2021 apud Morakinyo et al., (2021) as características arbóreas que mais influenciam na melhoria do clima são altura da copa, tamanho, densidade da copa. Portanto, acredita-se que apenas o parâmetro “altura total” não seja o suficiente, uma vez que, apesar do tamanho das espécies, algumas árvores podem ter atingido a fase adulta sem apresentar características como uma copa de altura expressiva.

Mascaró (2012) destaca a influência do sombreamento da vegetação na temperatura superficial dos pavimentos expostos à radiação solar de verão, sendo mais significativa quando a copa das árvores é densa. O sombreamento proporcionado por árvores de médio e grande porte ameniza o aquecimento superficial quando a copa é densa.

É importante considerar também os efeitos angulares decorrentes do sombreamento da vegetação, os quais podem ser significativos (Kimes e Kirchner 1983; Lagouarde et al., 1995). Esses efeitos estão relacionados à altura e à estrutura da vegetação, além da distribuição espacial, pois uma mesma cobertura fracionada pode resultar em comportamentos distintos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho realizou-se uma análise da correlação entre a temperatura de superfície e a densidade de árvores, em alguns bairros do município de Londrina, por estação do ano de 2018. Verificou-se que a primavera apresentou uma correlação moderada entre a temperatura máxima e a densidade de árvores, enquanto no outono a correlação foi mais significativa para as temperaturas mínimas.

Ao comparar as correlações ponderadas e não ponderadas, constatou-se que as correlações não ponderadas, evidenciando que apenas a utilização da altura das árvores como fator de ponderação não gerou resultados significativamente diferentes.

No geral, as correlações entre a TST e a densidade de árvores por bairro foram fracas, porém consistentes conforme apresentado por alguns autores. Embora os valores das correlações não tenham sido tão significativos, indicaram uma certa relação entre a temperatura e a densidade de árvores viárias.

Todos os bairros estudados apresentaram variações na temperatura ao longo das quatro estações do ano. Por exemplo, o Bairro Vila Casoni exibiu a menor densidade de árvores entre os bairros analisados e foi o que registrou as temperaturas máximas mais elevadas. Por outro lado, o bairro Palhano também possui baixa densidade de árvores, mas não apresentou variações expressivas nas temperaturas máximas ou mínimas de superfície. O fato deste trabalho não ter considerado áreas verdes pode ser a justificativa para tal diferença.

Com isso pode-se observar a importância da análise de temperatura de superfície em relação à arborização viária no município de Londrina. Bairros com características próximas de área e densidade arbórea, apresentaram variações em suas temperaturas superficiais, mostrando que outros fatores também podem influenciar na caracterização térmica no município.

Para uma compreensão mais precisa das diferenças da temperatura entre as estações do ano e os bairros em questão, seria relevante incorporar esses elementos em trabalhos futuros. Estudos que considerem a topografia, emissividades dos materiais, cobertura do solo, e áreas verdes em geral, entre outros fatores ambientais, podem fornecer informações adicionais para entender as variações térmicas observadas.

Além disso, a análise das temperaturas de superfície durante a noite é crucial, pois as árvores desempenham um papel importante na regulação térmica nesse período.

Também seria interessante não se limitar apenas a uma variável dendométrica isolada, como a altura total das árvores, mais considerar outras medidas, como o diâmetro e a área da copa das árvores. Isso pode proporcionar uma visão mais completa do efeito da arborização viária na temperatura de superfície.

Essas informações podem subsidiar estratégias de planejamento urbano sustentável e contribuir para a criação de ambientes mais confortáveis no ponto de vista térmico.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. M; LOPES, W. G. R. Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. **Revista RA'EGA**, Piauí, v.36, p. 38-68, abr. 2016.
- ALVES, Elis; VECCHIA, Francisco. Influência de diferentes susperfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental. **Ambiência**. Guarapuava (PR). V.8, n.1, p.101-111, jan/abr. 2012.
- ANGELINE, L. P. et al. Relação entre albedo e temperatura da superfície estimados por sensoriamento remoto na área urbana de Cuiabá, Mato Grosso. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais XVII**. João Pessoa-PB. p.1892-1898.
- ARANTES, Arielle; SILVIO, Braz; SOARES, Geymme; FERREIRA, Laerte. **Análise da temperatura de Superfície Terrestre e índice de vegetação SAVI para o município de Goiânia**. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, n. 16, 2009, Foz do Iguaçu-PR, p.6.
- Atlas Digital da Região Metropolitana de Londrina. **Mapas-Região Metropolitana de Londrina**. Disponível em: <http://www.uel.br/projetos/atlasrml/mapas/rml.html>. Acesso em: 07 out. 2022.
- BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. Grupo A, 2009. E-book. ISBN 9788565837392.
- BORGES, Julio Cesar Angelo; BATISTA, Ligia Flávia Antunes. 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.
- BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em 10 out.2022.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Institui o novo código florestal brasileiro. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 10 out.2022.
- CARVALHO, D. F. SILVA; L. D. B. **Hidrologia, Evaporação e Transpiração**. cap.6, agosto/2006. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap6-ET.pdf>. Acesso em: 25 out. 2022.
- CARVALHO, L. F. **A influência de diferentes espécies arbóreas no microclima urbano**. 2021. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

CASTRO, L. G. **Mapeamento da temperatura superficial e sua contribuição para o estudo do clima urbano de Eusébio – CE**. 2019. Bacharelado (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geografia, 2019.

CECCHETTO, C. T; CHRISTMANN, S. S; OLIVEIRA, T. D. **Arborização Urbana: Importância e benefícios no planejamento ambiental das cidades**. In: Seminário Internacional de Educação no Mercosul, n.16, UNICRUZ, 2018.

CML, Câmara Municipal de Londrina. **Conheça Londrina**. Disponível em: <https://www.cml.pr.gov.br/cml/site/conhecalondrina.xhtml>. Acesso em: 06 out. 2022.

CODEL, Instituto de Desenvolvimento de Londrina. **Dados Geográficos**. Londrina-PR, 2015. Disponível em: <http://codel.londrina.pr.gov.br/index.php/component/content/article.html?id=76>. Acesso em: 05 out. 2022.

COELHO, André; CORREA, Wesley. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/LANDSAT-8: Metodologia e Aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.7, n.1, p.31-45, 2013.

EMBRAPA. **Floresta Estacional Semidecidual**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/vegetacao/floresta-estacional-semidecidual>. Acesso em 03 mar. 2023.

EMBRAPA. **Boletim Agrometeorológico da Embrapa Soja**. Londrina, PR-2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197406/1/DOC411-1.pdf>. Acesso em 03 mai 2023.

FIGUEIREDO FILHO, D. B. SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v.18, n.1, 2009.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo. Oficina de textos. 2010.

GOIS, Douglas Vieira. **Cenários de risco à desertificação no semiárido sergipano. 2020**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, 2020. São Cristóvão, SE.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 8 ed. Editora Bertrand Brasil, 2018.

HENDGES, E. R; FOLLADOR, F. A. C; ANDRES, J. **Estudo de correlação entre o uso e cobertura da terra com a temperatura de superfície registrada pelo satélite Landsat 8**. Uberlândia, MG. v.32. p.357-366. 2020.

HOFFMANN, ANÁLISE DE REGRESSÃO Uma Introdução à Econometria. https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/Analise_Regress%C3%A3o.pdf IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina-PR, 2019. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 01 out. 2022.

IAT, Instituto Água e Terra. **Florestas Urbanas (Arborização Urbana)**. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Florestas-Urbanas-Arborizacao-Urbana#:~:text=A%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20existente%20nas%20cidades,de%20ruas%20\(vias%20p%C3%ABlicas\)](https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Florestas-Urbanas-Arborizacao-Urbana#:~:text=A%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20existente%20nas%20cidades,de%20ruas%20(vias%20p%C3%ABlicas)). Acesso em: 05 out. 2022.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/londrina.html>. Acesso em 06 out. 2022.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estações do Ano**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/estacoes>. Acesso em: 26 set. 2022.

IPPUL, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina. Mapas Temáticos. Londrina-PR, 2016. Disponível em: <https://ippul.londrina.pr.gov.br/index.php/mapa-de-londrina-cadernao-de-mapas/79-mapas-tematicos.html>. Acesso em: 01 out. 2022.

LIMA, D. C. R. NUNES, L. A. SOARES, P, F. **Avaliação da influência da vegetação no conforto térmico em espaços Livres**. In: Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá-PR, 2009. Disponível em: http://www.dec.uem.br/eventos/ii_simpgeu/arquivos/Trabalhos/137.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

LONDRINA. **Lei nº 11.996, de 29 de julho de 2013**. Institui o Plano de Arborização do Município de Londrina. Londrina: Câmara Municipal de Londrina, 2013.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. Editora Blucher, 2015. E-book. 9788521208365.

MAFFIOLETTI, Fernanda; RAMALHO, Antonio; PAES, Juarez; FIEDLER, Nilton. Influência da cobertura vegetal na temperatura da superfície em cidade pouco urbanizada. **Revista ACSA – Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos – PB, v.17, n.3, p. 161-168, julho-setembro, 2021.

MASCARÓ, J. J. **A infraestrutura verde como estratégia de Sustentabilidade Urbana. XIV ENTAC**. Juiz de Fora. p.0.962-0.969.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ (MPPR). **Manual para elaboração do Plano Municipal de Arborização Urbana**. Curitiba-PR. ed. 2, p.65, 2018. Disponível em: https://meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Manual_Arborizacao_Urbana_2_edicao.pdf. Acesso em: 06 out. 2022.

MORAKINYO, T. E. et al. A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. **Building and Environment**, v.115, p.1-17, 2017.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. Clima urbano. São Paulo: 1976. **Contexto**, 2003.

NASA. Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). **Satellite Remote Sensing for Measuring Urban Heat Islands**. Disponível em:

<https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-satellite-remote-sensing-measuring-urban-heat-islands-and>. Acesso em 10 mar. 2023.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010)**. 2011. Dissertação (Pós-graduação em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, 2010.

OKE, R T. **Boundary Layer Climate**. 2. ed. [S. l.]: Routledge, 1987. 68 p. ISBN 0-203-71545-4.

OLIVEIRA, Diego; ROSA, Roberto. **Temperatura de Superfície obtida com técnicas de geoprocessamento**. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, n.16, 2013, Foz do Iguaçu-PR, p.4153- 4160.

PENNA, Bruno. **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.

PEREIRA, Clarissa Cardoso. **Temperatura de superfície na bacia da usina hidrelétrica (UHE) Barra dos Coqueiros, utilizando climatologia e sensoriamento remoto**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Jataí-GO, 2014.

PESSI, D. D. et al. Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios. **Terra Plural**. v.12, n.3, p.237-251. 2019.

PORTO, L. R.; BATISTA, L. F. A; FARIA, P. C. L. **Georreferenciamento da Arborização Urbana em Londrina-PR**. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, n.19, 2019, Santos-SP, INPE, 2019, p.1303-1306.

Quattrochi, D, A; Luvall, J.C. **Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes**. Sensoriamento Remoto Térmico no Processamento da Superfície Terrestre; CRC Press: Boca Raton, FL, EUA, 2005.

RELYEA, Rick. **Economia da Natureza**. Grupo GEN, 2021. E-book. ISBN 9788527737623.

RICCE, W. S. R.; et al. **Análise de Tendências na Temperatura e Precipitação em Londrina, Estado do Paraná**. *In*: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA.2001, Belo Horizonte-MG. Disponível em: <http://sbagro.org/files/biblioteca/2504.pdf>. Acesso em 12 abr. 2023.

ROMERO, Cristhy Willy da Silva et al. Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto. **Revista Geociências**, São Paulo, p. 1-16. 2020.

ROSSETTI, Adriana; PELLEGRINO, Paulo; TAVARES, Armando. As árvores e suas Interfaces no Ambiente Urbano. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba-SP, v.5, n.1, p.1-24, 2010.

SALVIANO, M. F; GROppo, J. D; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 31(1), 2016.

TEIXEIRA, Antônio Heriberto. FILHO, José Moacir. **Cultivo de Mangueira**. EMBRAPA. Jul. 2004. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/clima.htm#:~:text=A%20temperatura%20do%20ar%20atua,elevam%20a%20temperatura%20do%20ar. Acesso em: 25 out. 2022.

US Geological Survey (USGS). **LANDSAT 8: Data Users Handbook**. v.5, 2019. Disponível em: https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf. Acesso em 07 out. 2022.

VASCONCELOS, Laura; ZAMPARONI, Cleusa. Análise do microclima em Cuiabá-MT: Um estudo de caso nos bairros Duque de Caxias e dos Bandeirantes. **Revista GEOAMBIENTE Online**, Jataí-GO, n.16, jan-jun. 2011.

WAN, Z. **MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD)**. version 3.3. Institute for Computational Earth System Science. University of California, Santa Barbara, 1999.

WENG, Qihao. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. ISPRS, **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Terre Haute-EUA, p. 335-344, 5 fev. 2009.

WILSON, J.S. et al. **Evaluating environmental influence of zoning in urban ecosystems with remote sensing**. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, p. 303–321, 2003.

**APÊNDICE A - Tabela de Número de pontos e Densidade de pontos por bairro
com e sem peso**

Tabela 8- Número de pontos e a densidade de árvores em cada bairro

Bairros	Área (km²)	Pontos	Densidade (pontos/km²)	Pontos Ponderados	Densidade ponderada (pontos ponderados/km²)
Vila Recreio	1,178	1760	1494	10130	8599
Vila Nova	1,339	1823	1361	10213	7627
Vila Casoni	0,745	519	697	3238	4346
Shangri-lá	1,593	2378	1493	14231	8933
Presidente	1,447	2267	1567	12950	8950
Higienópolis	0,918	1204	1312	8316	9059
Ipiranga	0,534	862	1614	5454	10213
Petrópolis	1,377	1760	1278	11438	8306
Vila Brasil	0,849	1493	1759	8170	9623
Guanabara	0,973	1019	1047	6176	6347
Quebec	1,793	2051	1144	12935	7214
Centro Histórico	3,27	5465	1671	37502	11469
Champagnat	1,773	2194	1237	12477	7037
Aeroporto	0,859	1008	1173	6134	7141
Brasília	0,993	1486	1496	8615	8676
Palhano	1,007	734	729	4075	4047

Fonte: Autoria própria (2023)

ANEXO A - Código-Fonte ARSET

CÓDIGO-FONTE ARSET TRAINING

/*

Author: Sean McCartney (sean.mccartney@nasa.gov)

ARSET Training: Satellite Remote Sensing for Measuring Urban Heat Islands
and Constructing Heat Vulnerability Indices

August 2, 2022 - August 11, 2022

This code is free and open.

By using this code you agree to cite the following reference in any publications
derived from them:

NASA Applied Remote Sensing Training (ARSET) program

This example shows how to analyze and visualize Landsat surface
temperature (ST) time series

from Landsat 8 over Washington, DC (USA) from a defined area of interest
(aoi).

Parameters:

In: DATE_RANGE

YEAR_RANGE

STUDYBOUNDS

DISPLAY

aoi: delineated rectangle for area of interest

Rural: delineated polygons for rural areas

Urban: delineated polygons for urban areas

Out: clipped image of mean daytime surface temperature (ST) and surface
urban heat island (SUHI).

*/

//***** DEFINE THE STUDY AREA *****//

// Use the "Draw a rectangle" tool in the map window to define your

// area of interest (aoi) for filtering the image collection.

```

// Assign a variable to filter the day of year from July 1 to August 31.
// Adjust the DATE_RANGE for your own UHI study.
var DATE_RANGE = ee.Filter.dayOfYear(330, 60);
// Assign a variable to filter years from 2010 – 2022.
// Adjust the YEAR_RANGE for your own UHI study.
var YEAR_RANGE = ee.Filter.calendarRange(2016, 2018,'year');
// Assign a variable to delineate your area of interest
// Create your own aoi using the Geometry tools in the map window. Rename
your geometry to match the assigned variables.
var STUDYBOUNDS = aoi;
// Assign a variable to display images in the map window
var DISPLAY = true;

// Set the basemap to display as satellite.
Map.setOptions('SATELLITE');
/* Other basemap options are below
Map.setOptions('HYBRID');
Map.setOptions('ROADMAP');
Map.setOptions('TERRAIN');
*/

// Center the map view at defined coordinates (longitude/latitude) with the
given zoom level.
// Zoom level ranges from 0 to 24, with 0 being global and 24 being the smallest
region possible.
// Latitude must be within [-85, 85].
// Adjust the long/lat for your own aoi.
Map.setCenter (-51.1, -23.3, 10);

// Assign a variable to the sensor-specific bands unique to each Landsat
mission.
var LC08_bands = ['ST_B10', 'QA_PIXEL']; // Landsat 8 surfaces temperature
(ST) & QA_Pixel bands

```

```

// Assign a variable for the band names used later in the script.
// var bandName = ['ST', 'QA_PIXEL'];

//***** CLOUD MASK FUNCTION *****/
// Create a function to mask clouds and cloud shadows based on the
QA_PIXEL band of Landsat 8 & 9
// For information on bit values for the QA_PIXEL band refer to:
// https://developers.google.com/earth-
engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C02_T1_L2#bands
function cloudMask(image) {
  var qa = image.select('QA_PIXEL');
  var mask = qa.bitwiseAnd(1 << 3)
    .or(qa.bitwiseAnd(1 << 4));
  return image.updateMask(mask.not());
}

/* Assign variables to import the Landsat Collection 2, Tier 1, Level 2 image
collections, selecting
the ST and QA_PIXEL bands, and spatially filtering the image collection by
your aoi. */
var L8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')
  .select('ST_B10', 'QA_PIXEL')
  .filterBounds(STUDYBOUNDS)
  .filter(DATE_RANGE)
  .filter(YEAR_RANGE)
  .map(cloudMask);

// Filter the collections by the CLOUD_COVER property so each image
contains less than 20% cloud cover.
var filtered_L8 = L8.filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 20));

// Use print statements to print the argument to the console.
Print(filtered_L8, 'Landsat 8 ST');

```

/* Create a function using Landsat scale factors for deriving ST in Kelvin and Celsius.

For more information on ST scale factors, refer to:

<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products> */

```
function applyScaleFactors(image) {
  var thermalBands =
image.select('ST_B10').multiply(0.00341802).add(149.0) // Scale factors for Kelvin
  .subtract(273.15); // Scale factor for degrees Celsius
  return image.addBands(thermalBands, null, true);
}
// Use print statements to print the argument to the console.
Print (filtered_L8, 'Landsat ST (Celsius)');

// Define a variable to apply scale factors to the filtered image collection.
var landsatST = filtered_L8.map(applyScaleFactors);

// Use a print statement for tracking your progress in the console tab.
Print ("... Computing mean ST across image collection");

//***** CALCULATE MEAN SURFACE TEMPERATURE *****//
// Define a variable to calculate mean ST for each pixel geography
// throughout the filtered image collection.
var mean_LandsatST = landsatST.mean();

// Define a variable to use the clip function to subset your imagery to the aoi.
var clip_mean_ST = mean_LandsatST.clip(STUDYBOUNDS);

// Use a print statement to print the argument to the console.
Print (clip_mean_ST, 'Mean ST clipped to study area');

// Define a variable to select the temperature band.
var values_ST = clip_mean_ST.select("ST_B10");
```

```

// Define a variable to output a histogram of mean ST values within your aoi.
var histogram_ST_values = ui.Chart.image.histogram(values_ST,
STUDYBOUNDS, 30);

// Use print statement to output the histogram values of mean ST to the console
tab.
print(histogram_ST_values);

// Add the image to the map window, defining min/max values, a palette for
// symbology, assign a name to the visualization, and display the result.
Map.addLayer(clip_mean_ST, {
  bands: "ST_B10",
  min: 28, max: 47,
  palette: ['blue','white','red']}, "ST", DISPLAY);

print ('... Mean/Min/Max ST for urban Washington, DC');
// Define a variable to compute the mean, min, and max for an urban polygon
layer.
// Polygon was created using the "Draw a shape" tool.
var statsUrban = clip_mean_ST.reduceRegions({
  collection: Urban,
  reducer: ee.Reducer.median().combine({
  reducer2: ee.Reducer.minMax(),
  sharedInputs: true
  }),
  scale: 30});

// print the statistics to the console.
print (statsUrban);

print ('... Mean/Min/Max ST for rural Washington, DC');
// Define a variable to compute the mean, min, and max for a rural polygon
layer.
// Polygon was created using the "Draw a shape" tool.

```

```

var statsRural = clip_mean_ST.reduceRegions({
  collection: Rural,
  reducer: ee.Reducer.mean().combine({
  reducer2: ee.Reducer.minMax(),
  sharedInputs: true
  }},
  scale: 30});

```

```
// print the statistics to the console.
```

```
print (statsRural);
```

```
/******* CALCULATE SUHI *****/
```

/* To calculate the surface urban heat island (SUHI) intensity for your aoi, find the Mean/Min/Max ST under the Console tab --> FeatureCollection --> features --> properties --> ST_B10_mean

Subtract the mean urban temperature from the mean rural temperature.

$(ST_B10_mean [Urban]) - (ST_B10_mean [Rural]) = SUHI \text{ intensity}$

The intensity of the heat island is the simplest quantitative indicator of the thermal modification imposed by a city upon the geography in which it is situated, and

of its relative warming in relation to the surrounding rural environment. */

```

Export.image.toDrive({
  image: clip_mean_ST,
  description: 'ST_nasa_verao',
  scale: 30,
  region: aoi
});

```