

MATEUS LIOTTO LUCCA

INTERAÇÕES ENTRE ARBORIZAÇÃO URBANA, TEMPERATURA
DE SUPERFÍCIE E ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE
CASCAVEL - PR (2014-2024)

CASCAVEL

PARANÁ – BRASIL

JULHO – 2025

MATEUS LIOTTO LUCCA

**INTERAÇÕES ENTRE ARBORIZAÇÃO URBANA, TEMPERATURA
DE SUPERFÍCIE E ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE
CASCAVEL - PR (2014-2024)**

Trabalho apresentado à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Exame de Qualificação do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Energia na Agricultura – Mestrado. Orientador Dr. Maritane Prior.

Coorientador: Erivelto Mercante.

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
JULHO – 2025

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Liotto Lucca, Mateus

INTERAÇÕES ENTRE ARBORIZAÇÃO URBANA, TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL - PR (2014-2024) / Mateus Liotto Lucca; orientadora Maritane Prior; coorientadora Erivelto Mercante. -- Cascavel, 2025. 56 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2025.

1. Engenharia. 2. Geoprocessamento. 3. Sustentabilidade. 4. Temperatura. I. Prior, Maritane, orient. II. Mercante, Erivelto, coorient. III. Título.

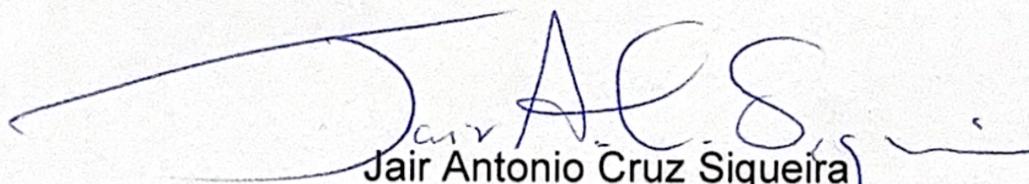
MATEUS LIOTTO LUCCA

Interações entre arborização urbana, temperatura de superfície e ilhas de calor no município de Cascavel-PR (2014-2024)

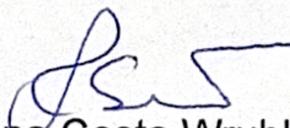
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes renováveis e racionalização de energia na agroindústria e agricultura, APROVADO pela seguinte banca examinadora:



Orientadora - Maritane Prior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Suzana Costa Wrublack
Centro Universitário de Cascavel (UNIVEL)

Cascavel, 31 de julho de 2025

Dedico este trabalho a minha esposa, aos meus familiares e amigos, que sempre torceram para meu sucesso e crescimento”.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter me dado saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho. A minha esposa, que me incentivou e sempre torceu por mim. Aos meus familiares e amigos, que sempre estiveram ao meu lado, em memória de minha mãe. A minha orientadora Maritane Prior, pelos ensinamentos. A agência CAPES que financiaram o estudo com bolsa de estudo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variações de Temperatura entre a Superfície e o Ar.....	18
Figura 2 - Tipos de ilhas de calor.....	19
Figura 3 - Mapa localização de Cascavel – PR.....	34
Figura 4A E 4B - Temperatura de janeiro 2014 e 2024.....	39
Figura 5A E 5B- Temperatura de fevereiro 2014 e 2024.....	39
Figura 6A E 6B- Temperatura de março 2014 e 2024.....	40
Figura 7 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de janeiro de 2014. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite.....	41
Figura 8 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de janeiro de 2024. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite 39Erro! Indicador não definido	41
Figura 9 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de fevereiro de 2014 . Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite 40.....	42
Figura 10 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de fevereiro de 2024. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite. 40.....	43
Figura 11 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de março de 2014. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite. 41.....	44
Figura 12 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de março de 2024. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite. 41.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos Sensores OLI e TIRS do Landsat 8.....	23
Tabela 2 - Estatística descritiva das variáveis Temperatura(TS) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	46
Tabela 3 - Teste de hipóteses par-a-par utilizando o teste Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner para Temperatura de Superfície (TS) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) entre os diferentes anos ($\alpha = 0,05$).....	46
Tabela 4 - Variação percentual da Temperatura de Superfície (TS) entre os anos de 2014 e 2024.....	47

LUCCA, Mateus Liotto. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Julho de 2024. **INTERAÇÕES ENTRE ARBORIZAÇÃO URBANA, TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL-PR (2014-2024)**. Professor Orientador: Dr. Maritâne Prior.

RESUMO

Este estudo analisou a variação espacial da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) no município de Cascavel-PR referente aos períodos de anos de 2014 e 2024, com ênfase na contribuição da vegetação urbana no controle da temperatura. A rápida urbanização, somada à substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, tem intensificado os efeitos das ilhas de calor urbano, afetando a qualidade ambiental e a saúde da população. A pesquisa foi realizada utilizando técnicas de sensoriamento remoto, com base em imagens dos satélites Landsat 8, processadas no software QGIS. Foram analisadas as temperaturas dos meses de verão (janeiro, fevereiro e março) de 2014 e 2024, além da distribuição da vegetação por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). As temperaturas foram calculadas a partir da banda termal do satélite landsat 8. Para o NDVI, foram utilizadas as bandas de infravermelho próximo e vermelho. Para fins de comparação e validação do resultado, foram utilizadas estatísticas descritivas e o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados, além da aplicação da correlação de Pearson para avaliar a relação entre cobertura vegetal e temperatura superficial. O estudo confirmou o aumento da ilha de calor urbano em Cascavel entre 2014 e 2024, causado pela expansão urbana desordenada e pela redução da cobertura vegetal. Apesar de um pequeno aumento no NDVI, a vegetação existente mostrou-se insuficiente para conter o aquecimento. A perda da correlação entre vegetação e temperatura indica redução da capacidade de regulação térmica. O trabalho destaca a urgência de políticas públicas voltadas à ampliação das áreas verdes e ao planejamento urbano sustentável, visando a mitigar os impactos climáticos locais.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade; infra vermelho termal; geoprocessamento.

LUCCA, Mateus Liotto. Western Paraná State University, July 2024.
**INTERACTIONS BETWEEN URBAN TREE COVER, SURFACE TEMPERATURE,
AND HEAT ISLANDS IN THE MUNICIPALITY OF CASCAVEL-PR (2014–2024).**
Advisor: Dr. Maritâne Prior.

ABSTRACT

This study examined the spatial variation of Land Surface Temperature (LST) in the municipality of Cascavel, Paraná State, Brazil, for the years 2014 and 2024, with a particular focus on the role of urban vegetation in regulating surface temperature. Accelerated urbanization, coupled with the replacement of vegetated areas by impermeable surfaces, has intensified urban heat island (UHI) effects, posing challenges to environmental quality and public health. The research employed remote sensing techniques, utilizing Landsat 8 satellite imagery processed with QGIS software. LST data from the summer months (January, February, and March) of both years were analyzed, alongside vegetation distribution assessed through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Surface temperatures were derived from the satellite's thermal band, while NDVI calculations employed the near-infrared and red spectral bands. For comparative and validation purposes, descriptive statistical analyses were conducted, including the Shapiro-Wilk test to assess data normality and Pearson's correlation coefficient to examine the relationship between vegetation cover and surface temperature. The findings confirmed a significant increase in UHI intensity in Cascavel over the ten-year period, largely attributed to unplanned urban expansion and the reduction of vegetative cover. Although a slight increase in maximum NDVI values was observed, the existing vegetation proved insufficient to mitigate surface warming. The weakening correlation between vegetation and LST over time further indicates a declining capacity for thermal regulation. This study underscores the urgent need for more effective public policies focused on expanding urban green areas and promoting sustainable urban planning to mitigate local climatic impacts and enhance urban resilience.

KEYWORDS: Sustainability, thermal infrared, geoprocessing.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 A Urbanização e seus Impactos Ambientais e Sociais no Brasil	13
3.2 Clima Urbano.....	15
3.3 Fenômenos das Ilhas de Calor	16
3.4 Relação de Sensoriamento Remoto e Ilha de Calor.....	20
3.5 Energias Sustentáveis e algumas Estratégias	24
3.5.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS.....	27
3.6 Áreas Verdes	28
3.6.1 Índices de Áreas Verdes.....	30
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1 Caracterização da Área de Estudo (FASE 1)	33
4.2 Coleta de Dados (FASE 2).....	34
4.3 Elaboração dos Mapas	35
4.3.1 Mapeamento da temperatura.....	35
4.3.2 Mapeamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	36
4.3.3 Análises Estatísticas	37
4.4 Influência de Áreas Verdes na Qualidade de Vida (FASE 3)	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
6 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

As cidades desempenham uma função cada vez maior na inserção de ações relacionadas às mudanças climáticas, visando suas ações ambientais, sociais e econômicas. As cidades são incentivadas a adotar ações de adaptação climáticas em virtude de sua vulnerabilidade geográfica (Hallegatte *et al.*, 2013).

O processo de produção das cidades e expansão das áreas urbanas resulta em distintos problemas ambientais e sociais. Dentro destas circunstâncias, as condições geológicas do local como o solo, vegetação, relevo, clima e os corpos d'água, não são levados em consideração (Porangaba; Amorim, 2019; Monteiro, 1990).

As mudanças climáticas representam, na contemporaneidade, uma das mais relevantes ameaças às populações humanas. Nesse contexto, associado à intensificação da urbanização, Trindade *et al.* (2017) ressaltam os impactos decorrentes da substituição de superfícies naturais por áreas edificadas. De acordo com dados do último Censo Demográfico (IBGE, 2022), aproximadamente 84% da população brasileira encontra-se concentrada em áreas urbanas.

O desenvolvimento urbano influencia no clima conforme a alteração da cobertura do solo levando em conta as intervenções para criar infraestrutura para suprir demandas urbanas, com pavimentação do solo, supressão da vegetação e construção de edifícios. Esses fatores colaboram para a formação das ilhas de calor, que alteram as características físicas do ar nas proximidades da superfície a partir da variação dos fluxos de massa, do calor sensível e calor latente, de maneira a dificultar a dispersão de poluentes e intensificar tempestades (Ribeiro *et al.*, 2016).

As atividades humanas relacionadas à urbanização também geram problemas ambientais, a ilha de calor é a mais evidente. Pode-se definir por meio da diferença térmica da área urbana para a rural, sendo que, na urbana, o ar e as temperaturas de superfície são mais elevados que a rural (Gartland, 2010).

O século XXI se depara com a necessidade de mobilização, devido à poluição ocorrida com as atividades humanas, que ocasionam mudança do microclima e também o aquecimento global. Torna-se urgente a conscientização da humanidade, mediante políticas públicas para possibilitar desenvolver mecanismos que tratem

dos conflitos sociais e ambientais de forma integrada, podendo garantir os direitos humanos dos habitantes das cidades. Para isso, se requer o estabelecimento de uma política e instrumentos de gestão urbana, com ações voltadas para a esfera local, com ênfase na sustentabilidade das cidades e utilização de tecnologias limpas e sustentáveis (Costa *et al.*, 2023).

Com o avanço das geotecnologias, dados de sensoriamento remoto e aumento da resolução de imagens de satélite se obtém várias informações do ambiente terrestre. Uma das informações que contém nas imagens é a temperatura aparente da superfície, conseguidas por meio da captação da energia eletromagnética que um determinado ambiente ou objeto possa emitir (Mashiki; Campos, 2013). Além de possuir uma rápida obtenção de dados e disponibilidade de imagens de satélites gratuitas, a utilização do sensoriamento remoto é crescente em razão aos registros históricos disponíveis, pois oferecem dados significativos para a realização de análise temporal do desenvolvimento das ilhas de calor, sem ter a necessidade de realizar coletas de dados *in loco* (Costa *et al.*, 2023).

O objetivo deste trabalho foi analisar as diferenças de temperaturas, investigando a contribuição da arborização no controle da temperatura superficial terrestre. Foi avaliado o impacto de áreas com vegetação na redução da intensidade da temperatura, considerando a capacidade da vegetação em promover sombreamento e aumentar a evapotranspiração, visando reduzir os efeitos térmicos, melhorando assim a qualidade ambiental e promovendo a sustentabilidade nas cidades.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise temporal do período de verão sendo os meses de janeiro, fevereiro e março dos anos de 2014 e 2024, sobre a variação espacial de temperatura do município de Cascavel - PR, correlacionado ao índice de vegetação e avaliar a contribuição de áreas verdes urbanas no controle da temperatura terrestre.

2.2 Objetivos Específicos

1) Identificar e mapear as temperaturas da superficial terrestre (TST) do período do verão, sendo os meses de janeiro, fevereiro e março dos anos de 2014 e 2024.

2) Realizar o mapa de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do período dos 3 meses, dos anos de 2014 e 2024.

3) Analisar estatisticamente a correlação entre temperatura superficial terrestre e índice de vegetação, investigando a contribuição da arborização urbana no controle térmico, considerando áreas com diferentes tipos de cobertura vegetal.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Urbanização e seus Impactos Ambientais e Sociais no Brasil

O Brasil vivenciou, nas últimas seis décadas, um processo acelerado e pouco planejado de urbanização, caracterizado pela expansão desordenada dos centros urbanos e pela ocupação inadequada do território. A urbanização desordenada tem provocado distorções no uso do espaço urbano, favorecendo a formação de aglomerações carentes das condições mínimas de qualidade de vida para seus habitantes, ao mesmo tempo em que contribuem com a transformação da paisagem e a degradação dos espaços naturais (Crispim *et al.*, 2021).

O tema ambiental passou a se vincular com as características da urbanização a partir de 1980, com propostas de intervenções urbanísticas relacionadas à revitalização de áreas degradadas, denominado de empresariamento da administração urbana (Gagliardi, 2012).

Embora os problemas ambientais urbanos não sejam recentes, foi apenas nas últimas décadas que passaram a integrar a consciência pública de maneira mais significativa, sobretudo em razão da escala e da gravidade com que vêm se manifestando. Esse processo é enfatizado pela incorporação das questões ambientais urbanas em agendas institucionais e documentos oficiais, bem como por sua presença crescente em diferentes campos do conhecimento, o que sugere a consolidação do tema como uma área específica de investigação científica (Souza; Silva, Travessos, 2008).

Adicionalmente, fatores como as condições de vida, o senso de identidade e a satisfação individual são determinantes para compreender que a qualidade de vida urbana está diretamente relacionada com a capacidade da cidade em oferecer um ambiente propício ao bem-estar de seus habitantes (Moreira, 2015).

De acordo com Seidl e Zannon (2004), o conceito de "qualidade de vida" emergiu na década de 1930, porém, foi a partir de 1960 que começaram a ser discutidas questões mais específicas ligadas a esse conceito. O conceito de qualidade de vida urbana, para Nahas (2003), faz menção aos componentes de caráter imaterial, conferindo ao conceito o enfoque de cada cidadão, com vistas às

aspirações por felicidade, bem-estar e satisfação pessoal. A mesma autora profere que o conceito envolve a busca da necessidade por melhores condições de saúde e bem-estar, diante dos impactos e desigualdades sociais gerados pelo crescente processo de urbanização. Assim, as reflexões sobre a qualidade ambiental e qualidade de vida colocam o ambiente urbano na centralidade do debate, como uma categoria de análise, incluindo o ambiente físico, social, político, cultural e econômico, no qual a sociedade, majoritariamente, realiza a reprodução da vida. Nesse sentido, Sposito (2003) pondera que:

Na relação entre o urbano e o meio ambiente caberia como linha de raciocínio entender que se o ambiental é a síntese, ainda que contraditória, entre o natural e o social, o embate seria, antes, entre o social e o político, sendo a questão ambiental, nas cidades, uma das expressões mais completas desse conflito (Sposito, 2003, p. 295).

Atualmente, o termo "qualidade de vida" adquiriu grande relevância, a ponto de ser incorporado na nova edição dos Objetivos Globais, os chamados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), presentes na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. Essa iniciativa substituiu os anteriores Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, que foram concluídos em 2015. Dentro desse novo contexto, a perspectiva da sustentabilidade abrange princípios humanistas, com o objetivo de orientar e incentivar o desenvolvimento de cidades cada vez mais inclusivas, assegurando liberdade individual, qualidade de vida e ampliando as oportunidades em diferentes esferas sociais e econômicas (Cortesse *et al.*, 2019).

De maneira geral, os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável englobam uma série de aspectos que abordam soluções para a escassez de recursos naturais, particularmente no que tange à energia e aos recursos naturais. Esses conceitos surgem em resposta à deterioração das interações entre a ecologia global e o desenvolvimento econômico, refletindo uma crescente preocupação com a preservação dos recursos naturais e com o bem-estar humano no futuro (Feil; Shereiber, 2017).

3.2 Clima Urbano

O tema sobre mudanças climáticas tem repercussão na sociedade em escala global. As principais ações antrópicas, como emissão de carbono, causaram e continuam a intensificar as mudanças climáticas no mundo todo. No Brasil, apesar da vasta extensão de área florestal contribuir com a absorção de carbono (CO₂), o desmatamento e as mudanças no solo figuram como os maiores indicadores das emissões de gases, fazendo com que os países estejam entre os maiores emissores mundiais de gases do efeito estufa.

As mudanças climáticas representam um dos principais desafios contemporâneos em escala global, com repercussões significativas nos âmbitos ambiental, econômico, político e social. Conforme o Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019), a temperatura média da superfície terrestre aumentou 1,53°C no período de 1850–1900 a 2006–2015, um valor aproximadamente 75% superior à média global combinada, que inclui o aquecimento das superfícies terrestre e oceânica. Esse aquecimento progressivo tem sido associado à intensificação de eventos climáticos extremos, como incêndios florestais, mudanças nos padrões de precipitação e aumento da frequência e intensidade das ondas de calor, fatores que favorecem de maneira significativa o agravamento do fenômeno das ilhas de calor urbanas (ICU) (Camara *et al.*, 2022).

O documento ressalta a urgência da adoção de medidas eficazes e contínuas de mitigação, destacando que a limitação do aquecimento global a 1,5°C é fundamental para reduzir os riscos e impactos associados às mudanças climáticas (IPCC, 2019).

John Evelyn foi o pioneiro em trabalhos sobre clima urbano, publicando em 1661, logo em seguida, em 1883, Luke Howard, ambos sobre a cidade de Londres. Depois disso, números trabalhos foram publicados, tendo como propósito a análise e a pesquisa relacionada ao clima urbano com o processo de urbanização.

Monteiro e Mendonça (2011) relatam que “o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

Entende-se como clima de uma cidade a relação interna de variáveis que interferem na qualidade de vida da população. Portanto, ao se discutir o clima urbano de uma cidade, procura-se retratar o comportamento climático de um local

sob a visão do recorte de escala, objetivando na procura de sua causa e efeito de um determinado perfil climatológico (Freitas, 2018).

Conforme Morais (2011), os primeiros estudos sobre clima urbano se iniciaram no século XIX. Após a 2ª Guerra Mundial, os estudos aumentaram, principalmente nos Estados Unidos, Europa e Japão, quando o processo de crescimento da urbanização já estava bem estabelecido. Os trabalhos colocaram em voga as relações da expansão territorial das cidades e as temperaturas. Entretanto, foi no século XX que os trabalhos de climatologia tiveram um progresso significativo, manifestando uma preocupação das ações do homem nas mudanças no ambiente urbano.

O estudo do clima trata das temperaturas, pressão atmosférica, umidade, bioma local, entre outros fatores ambientais. Contudo, o clima urbano integra as atividades humanas, tais como uso e ocupação do solo. A alteração na cobertura do solo em ampla extensão resulta em uma alta absorção e retenção de calor radiante em áreas urbanas, conseqüentemente, a temperatura ambiente e a superfície em relação às áreas não urbanas circundantes (Bai *et al.*, 2017). Logo, temperaturas elevadas podem intensificar o calor extremo, surgindo diversos impactos na saúde e no bem-estar humano (Ebi *et al.*, 2021).

Landsberg (2006) relata três motivos que causam mudanças no clima em relação à urbanização. O primeiro deles é a inserção de construções em áreas naturais; o segundo motivo é a produção de calor gerada pela própria cidade, provocada pela população, indústrias e queima de combustíveis fósseis; o terceiro se refere ao adensamento populacional que gera modificações no clima local.

Monteiro e Mendonça (2003) ressaltam que o Sistema Clima Urbano (SCU) é definido como um sistema que envolve o clima de certo espaço terrestre e sua urbanização, ou seja, se refere como um sistema teórico com finalidade de relacionar o desempenho climático das cidades, tendo em vista as particularidades dinâmicas do clima e a sua relação com o meio urbano.

3.3 Fenômenos das Ilhas de Calor

A urbanização é responsável por diversas modificações climáticas, sendo a mais estudada e evidenciada a ilha de calor. Refere-se a um fenômeno que relata o aumento crescente da temperatura de áreas mais adensadas de uma cidade com

relação às áreas circundantes que, geralmente, são áreas rurais. Um dos primeiros estudos sobre ilha de calor é de Landsberg (1981). Para o autor, a formação da ilha de calor não está condicionada apenas à urbanização, mas também às condições específicas de tempo, visto que, com intensos ventos, as diferenças de temperatura do urbano e rural tendem a oscilar.

As ilhas de calor urbanas são zonas nas quais a temperatura média do ar é significativamente superior a das áreas rurais adjacentes. Esse fenômeno decorre, principalmente, da substituição de superfícies naturais por materiais urbanos como concreto, asfalto e edificações, que possuem alta capacidade de absorção e retenção da radiação solar. A intensificação do efeito é atribuída às atividades antrópicas, incluindo a emissão de calor por veículos, processos industriais e sistemas de climatização artificial. As ilhas de calor acarretam diversos impactos, como o agravamento do desconforto térmico, o aumento da demanda energética para resfriamento e prejuízos à saúde pública, relacionados ao estresse térmico e à elevação dos níveis de poluentes atmosféricos (Cavalcante *et al.*, 2020).

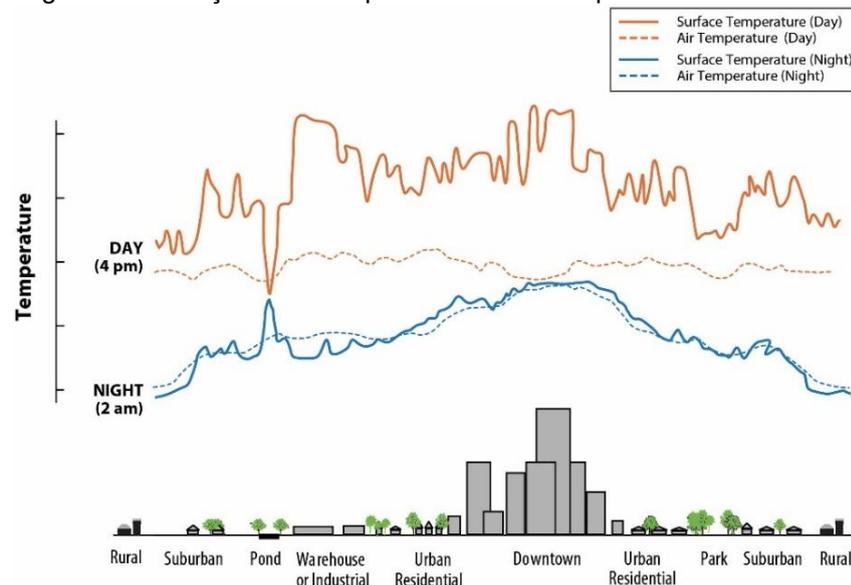
As ilhas de calor podem ser definidas como áreas de ar aquecido concentradas nas periferias urbanas, originadas pelas propriedades específicas dos materiais presentes na superfície, que possuem a capacidade de reter e refletir a radiação solar, além da contribuição do calor gerado por atividades antropogênicas. Esses fenômenos resultam das diferenças na distribuição de energia entre áreas urbanas e rurais, bem como das variações internas dentro da própria zona urbana (Amorim; Dubreuil, 2017).

A ilha de calor de superfície é caracterizada por um aumento na radiação de onda longa, gerado por diferentes fluxos de energia tanto durante o dia quanto à noite. A formação da ilha de calor de superfície diurna é, em grande parte, associada à redução na reflexão da radiação solar e no fluxo de calor latente, o que resulta em aumento do calor sensível e da radiação térmica captada por sensores térmicos. Atividades antropogênicas podem intensificar o fenômeno, amplificando a radiação térmica ascendente e o armazenamento de calor na superfície (Zhou *et al.*, 2019).

A Figura 1 mostra as variações térmicas entre os períodos diurno e noturno, bem como entre as zonas urbanas e rurais (United States Environmental Protection Agency – *Urban Heat Island Basics*). Observa-se que as temperaturas são significativamente mais elevadas nas áreas centrais urbanas em comparação com as regiões verdes circundantes. Esse fenômeno torna-se ainda mais pronunciado

durante a noite, em razão da liberação gradual do calor absorvido pelas superfícies urbanas ao longo do dia.

Figura 1 – Variações de Temperatura entre a Superfície e o ar



Fonte: United States Environmental Protection Agency – Urban Heat Island Basics.

Estudos voltados para a análise da relação entre a formação de ilhas de calor e o uso e ocupação do solo, como os realizados por Araújo, Silva e Machado (2016) e Nascimento, Jardim e Rangel (2018), demonstraram que esse fenômeno é exacerbado, principalmente pela remoção da cobertura vegetal e pela intensa urbanização.

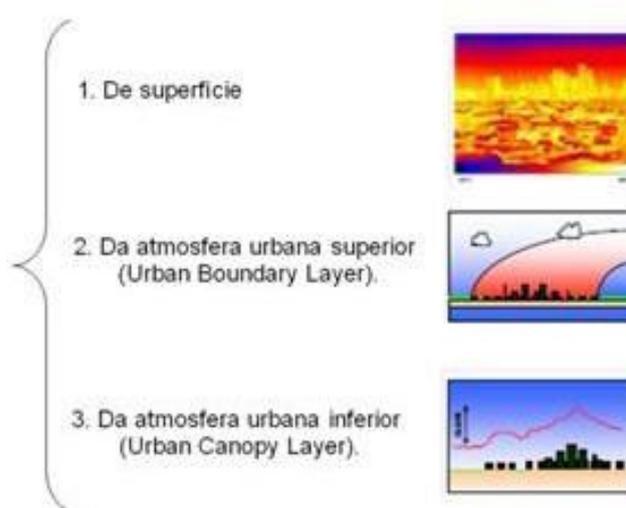
A modificação da temperatura térmica da superfície é causada pela demasia de materiais de construções e edificações relacionadas às áreas verdes, sendo considerada uma das maiores alterações causadas pela urbanização. Isso se dá por meio da absorção de energia pelos materiais construtivos tornando, então, como um impermeabilizante na superfície. Além das atividades antrópicas, que modificam a atmosfera urbana pela adição de calor, e a alteração da circulação do ar pela rugosidade urbana, destacam-se os impactos na qualidade do ar e na formação de microclimas, que intensificam o efeito como as ilhas de calor (Coltri, 2006).

Em estudos de clima urbano, existem limitações para critérios de identificação do que seja urbano ou rural. Uma proposta para solucionar este problema foi criada por Stewart e Oke (2009) quando desenvolveram o sistema de classificação denominado Zonas Climáticas Locais (LCZ), um sistema de classificação que categoriza áreas urbanas e rurais com base em suas características físicas, térmicas

e funcionais. O objetivo principal desta metodologia é padronizar as análises de clima urbano, facilitando comparações entre diferentes cidades ou regiões, bem como oferecendo uma base científica para o estudo de características como ilhas de calor urbano.

Diante disso, foram desenvolvidas novas possibilidades de identificação das ilhas de calor. A partir de imagens termais instaladas em satélites ou aviões, e também em plataformas de observações, como se pode observar na Figura 1.

Figura 1 - Tipos de ilhas de calor.



Fonte: Oke (1978) e Voogt e Oke (1997).

Para os autores, a intensidade da ilha de calor apresenta variações significativas devido às diferenças nas características urbanas e rurais. Nas áreas urbanas, a circulação do vento é reduzida durante o dia, influenciada por fatores como o tráfego intenso e a rugosidade criada pelas edificações. Outrossim, materiais como o asfalto e outros elementos que absorvem e retêm radiação quente para uma menor diminuição da temperatura ao longo do dia. Por outro lado, nas áreas rurais, a temperatura tende a cair de forma mais acentuada e rápida, em razão da maior presença de vegetação e a ausência de grandes superfícies impermeáveis, como o asfalto, permitindo uma maior presença de vegetação.

O controle de uma ilha de calor pode resultar em diversos benefícios para a vida humana, como a melhora do ar, a redução de temperatura, a economia de

energia, e até mesmo na redução de resíduos que acarretam uma grande melhoria na saúde da população, principalmente a população que reside em grandes centros com uma ilha de calor (Gartland, 2010).

Fialho e Azevedo (2009) proferem que existem diferenças entre as ilhas de calor, relacionado as diferentes técnicas e métodos de monitoramento de temperatura da superfície ou do ar, possibilitando a observação de diversos fenômenos.

3.4 Relação de Sensoriamento Remoto e Ilha de Calor

Os trabalhos relacionados ao clima urbano e as Ilhas de calor vêm adquirindo relevância na área do sensoriamento remoto, pois proporcionam perspectivas de escalas diferentes por intermédio da modificação dos dados infravermelho termal em temperatura visível (Coltri, 2006).

Uma das ferramentas utilizadas para investigar e compreender a estrutura e as inter-relações mencionadas em estudos meteorológicos e ambientais é o sensoriamento remoto, técnica que combina o processamento de imagens digitais para quantificar as alterações decorrentes de fatores antrópicos e naturais (Oliveira *et al.*, 2022).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são ferramentas essenciais para execução das técnicas de processamento digital das imagens, possuem variáveis algoritmos, entre eles o Thermal, que é capaz de converter os dados do infravermelho termal em temperatura da superfície, que são indispensáveis para poder interpretar estes dados (Hamada; Gonçalves, 2007).

Diversos autores, tanto no Brasil quanto no exterior, fazem uso do Sensoriamento Remoto para identificar as temperaturas de superfícies, com o processo da tecnologia da faixa do infravermelho termal estudam o fenômeno das ilhas de calor, a exemplo os trabalhos de Mendonça (1995), Lombardo (1985), Correa (2013) Weng (2003), Jensen (2009), Oke (2003) e Nascimento *et al.* (2018).

Voogt e Oke (2003) proferem que a implantação de tecnologias relacionadas ao sensoriamento remoto termal, por meio de satélites, plataformas em aeronaves e câmera térmica para drones, proporcionou novas viabilidades de observações sobre

as ilhas de calor urbano, podendo compreender as causas e combinações com as estruturas urbanas.

Pode-se identificar por meio do sensoriamento remoto a partir de imagens de satélite o aumento da temperatura superficial de um determinado município, pois a superfície do solo urbano com materiais construtivos como, por exemplo, as edificações e pavimentações, refletem maior ou menor quantidade de energia. Gartland (2010) destaca que “o sensoriamento remoto pode ser usado para medir as temperaturas e outras características de superfícies, como por exemplo, coberturas, pavimentos, vegetação e solo nu, por meio da medição de energia refletida e emitida a partir deles”.

As imagens provenientes da série de satélites Landsat têm sido amplamente utilizadas ao longo das últimas décadas, consolidando-se como uma das principais ferramentas para o monitoramento ambiental, à estimativa de parâmetros biofísicos e ao georreferenciamento de dados, fundamentais para o planejamento urbano e ambiental. Estudos como os de Gomes (2009), Giongo (2011), Santos (2012) e Duarte (2015) salientaram a aplicabilidade dessas imagens em pesquisas voltadas ao monitoramento de fenômenos ambientais, como o balanço de radiação, o fluxo de energia e o uso da água. Tem-se, ainda, a relevância das imagens Landsat no contexto da identificação, mapeamento e monitoramento das ilhas de calor urbanas, tendo em vista sua alta capacidade de análise espacial e temporal, o que as torna uma ferramenta essencial para subsidiar diagnósticos e estratégias de mitigação desses fenômenos em áreas urbanizadas.

A validação das estimativas de saldo de radiação a partir de produtos gerados pela série Landsat-8 demonstra o potencial dessa ferramenta como alternativa viável para pesquisas em larga escala espacial e em séries temporais de curto e médio prazo. Ressalta-se que o satélite Landsat-8, operacional desde 2013 e ativo até o presente período (2016), possui uma revisita orbital de aproximadamente 16 dias, o que possibilita o monitoramento contínuo de áreas de interesse (Alves *et al.*, 2017).

Nas áreas urbanas, existem diversos materiais que possuem propriedades distintas de absorção e reflexão da radiação eletromagnética, resultando em elevada variabilidade espectral. Ao receber a radiação solar, parte dessa energia é absorvida e parte é refletida pela superfície urbana. Os sensores que operam na faixa do infravermelho termal são capazes de detectar, a partir do topo da atmosfera, a radiação emitida pela superfície terrestre. Após o devido processamento e correção

dos efeitos atmosféricos, esses dados podem ser convertidos em estimativas da temperatura da superfície terrestre (LST - Land Surface Temperature), com base nos princípios da Lei de Planck, segundo a qual a quantidade de energia emitida por um corpo em determinado comprimento de onda é proporcional à sua temperatura (Dash *et al.*, 2002).

Destaca-se o lançamento do satélite Landsat 8 em 11 de fevereiro de 2013, que introduziu avanços tecnológicos importantes por meio de dois sensores: o Operational Land Imager (OLI) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS), sendo este último responsável pela captação de duas bandas termais capazes de detectar as ondas eletromagnéticas emitidas pela superfície terrestre, aprimorando significativamente o monitoramento de parâmetros ambientais como a temperatura de superfície (Matthew; Blackett, 2014).

Os sensores embarcados no satélite Landsat-8 apresentam uma faixa de imageamento de aproximadamente 170 km no sentido norte-sul e 185 km no sentido leste-oeste, com resolução temporal de cerca de 16 dias. A resolução espacial é de 30 metros para as bandas do espectro visível, 15 metros para a banda pancromática e 100 metros para as bandas termais 10 e 11 do sensor TIRS, conforme a Tabela 1 (Coelho; Correa, 2013).

Tabela 5 - Características dos Sensores OLI e TIRS do Landsat 8

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
OLI	B1 - Azul Costeiro	0,43 - 0,45 μm	30 m	16 dias	170 x 183 km	16 bits
OLI	B2 - Azul	0,45 - 0,51 μm	30 m			
OLI	B3 - Verde	0,53 - 0,59 μm	30 m			
OLI	B4 - Vermelho	0,64 - 0,67 μm	30 m			
OLI	B5 - Infravermelho Próximo	0,85 - 0,88 μm	30 m			
OLI	B6 - Infravermelho Médio	1,57 - 1,65 μm	30 m			
OLI	B7 - Infravermelho Médio	2,11 - 2,29 μm	30 m			
OLI	B8 - Pancromática	0,50 - 0,68 μm	15 m			
OLI	B9 - Cirrus	1,36 - 1,38 μm	30 m			
TIRS	B10 - Infravermelho Termal	10,6 - 11,19 μm	100 m			
TIRS	B11 - Infravermelho Termal	11,5 - 12,51 μm	100 m			

Fonte: United States Geological Survey (USGS, 2013).

O sensor TIRS do satélite Landsat-8 captura emissões térmicas da superfície terrestre por meio de duas bandas espectrais distintas: a banda 10, que registra radiação com comprimento de onda entre 10,60 e 11,19 μm , e a banda 11, que abrange comprimentos de onda entre 11,50 e 12,51 μm . Essas bandas térmicas são fundamentais para a obtenção de estimativas precisas da temperatura da superfície terrestre. Assim, o referido estudo objetiva demonstrar o potencial das bandas 10 e

11 do Landsat-8 na identificação e análise do fenômeno das ilhas de calor urbanas em quatro regiões metropolitanas do Brasil (Vilarinho *et al.*, 2015).

O aperfeiçoamento e a evolução do uso das tecnologias de Sensoriamento Remoto possibilitaram estudos mais detalhados e com dados mais precisos, demonstrando uma maior compreensão das superfícies terrestres e dos efeitos que a urbanização possa causar, podendo ser mensurados, estudados e utilizados para futuros planejamentos das cidades. As plataformas, imagens de satélites e dados gerais são utilizados para gerar os resultados do sensoriamento remoto de qualquer área do planeta (Almeida, 2010).

3.5 Energias Sustentáveis e algumas Estratégias

O termo sustentabilidade discutido na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972, apresentando uma maneira de desenvolvimento na qual as necessidades do presente possam ser atendidas sem comprometer as necessidades das gerações futuras (Comissão Mundial Sobre meio Ambiente e Desenvolvimento, 1991).

Ao se retratar o conceito de práticas sustentáveis, pode-se relacionar a criação de valor sustentável.

Sustentabilidade é respeito à interdependência dos seres vivos entre si e em relação ao meio ambiente, [...] significa operar a empresa, sem causar danos aos seres vivos e sem destruir o meio ambiente, mas, ao contrário, restaurando-o e enriquecendo-o (Savitz; Weber, 2007, p. 3).

Pode-se compreender que o conceito de desenvolvimento sustentável nos traz evidências a um processo de construção, digerindo diversos pensamentos de conhecimento científico para se obter análises e estabelecer critérios, quando possam ter ações de desenvolvimento social e econômico numa perspectiva da natureza.

A energia, em suas variáveis formas, é primordial para o desenvolvimento humano. O homem vem buscando há séculos formas de suprir sua necessidade por meio alternativos de produção. Com o aumento de novas tecnologias, conseqüentemente, aumenta-se o consumo de cada uma delas. Com isso, os atuais

meios de geração têm causado grandes alterações na estrutura do planeta (Freitas *et al.*, 2015).

Em razão das mudanças climáticas e ambientais, a busca por soluções alternativas tem sido discutida mundialmente. Com base no Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, “sem a ação adequada, a temperatura global deverá subir acima do limite de 2° C até 2010” (Pnuma, 2003), dado que a atual matriz energética mundial é inviável para o desenvolvimento ambiental. Assim, a busca por novos métodos de produção está cada vez mais em pauta.

Para minimizar os impactos das ilhas de calor urbanas, é necessário apostar em um desenvolvimento urbano sustentável, tal como exige a própria ONU na Nova Agenda Urbana (Nova Agenda Urbana, 2017). Entre as soluções estão:

Infraestruturas sustentáveis: as cidades precisam renovar suas edificações, estradas, pontes, calçadas, estações, iluminação pública, entre outros elementos, para alinhá-los com o combate contra as mudanças climáticas.

O tipo de cobertura das superfícies urbanas possuem impactos específicos na temperatura das cidades. A pavimentação de ruas, a falta de vegetação e o calor proveniente de veículos, indústrias e sistemas de climatização (como ar condicionado ou aquecimento) são fatores que influenciam diretamente o ambiente urbano. Esses elementos são relevantes para as características das ilhas de calor, fazendo com que em áreas urbanas densamente construídas a temperatura possa ser de 5°C a 10°C superior à de um parque, por exemplo (Goulart, 2009).

A Arquitetura bioclimática inclui a instalação de energias renováveis, como placas solares, para impulsionar o autoconsumo fotovoltaico ou de coberturas de vegetação para mitigar a absorção de calor.

Um exemplo são as florestas verticais que são incorporadas em edifícios cujas fachadas são cobertas por vegetação, formando paredes vivas nas quais as plantas são fixadas por suportes ou por meio de suas próprias raízes, dependendo da espécie. Outra abordagem envolve o uso de varandas projetadas para suportar árvores de pequeno a grande porte (Boer *et al.*, 2020).

Nas áreas urbanizadas, as zonas verdes desempenham um papel crucial na qualidade de vida, proporcionando benefícios que muitas vezes são diretamente atribuídos à sua presença. Elas oferecem sombra, melhorando o conforto térmico, e conservadores para a redução da poluição e dos níveis de ruído. Além disso, têm

um efeito calmante, ajudando a amenizar o estresse, enriquecendo a estética da cidade, tornando o ambiente mais agradável e saudável (Oliveira Filho *et al.*, 2013).

Goulart (2009) relata que a criação de parques infantis, jardins urbanos e parques públicos, inclusive com espaços abertos de uso múltiplo nas periferias, não apenas ajudam a mitigar a poluição, mas também criam ambientes avançados para a fauna local e proporcionam maior acesso às áreas rurais. Essas áreas verdes são essenciais para a promoção do bem-estar ambiental e social nas cidades, oferecendo espaços de lazer, descanso e integração.

Para Naumann *et al.* (2011), infraestruturas verdes consistem em uma rede integrada de áreas verdes, naturais ou seminaturais, cujo objetivo é conservar a biodiversidade, proporcionar benefícios ecossistêmicos à população e fortalecer a funcionalidade dos ecossistemas.

A relevância das áreas verdes no ambiente urbano está diretamente relacionada à sua quantidade, qualidade e distribuição dentro da malha urbana, sendo fundamental que esses espaços estabeleçam continuidade no tecido da cidade. A infraestrutura verde é caracterizada pela capacidade de oferecer múltiplas funções e benefícios em um mesmo território, abrangendo aspectos ambientais — como a conservação da biodiversidade e a adaptação às mudanças climáticas —, sociais — como a oferta de espaços de lazer — e econômicos — incluindo a geração de empregos e a valorização da cidade.

Sendo assim, um projeto sustentável deve ser ecologicamente responsável, socialmente equitativo e economicamente viável, integrando diversas variáveis, entre as quais o uso racional da energia se destaca como uma das principais premissas.

Com relação à dimensão ambiental, as estratégias sustentáveis possuem os aspectos a serem levados em conta, como os aspectos energéticos e materiais sustentáveis urbanos, quando relacionados com a energia, são como: otimização do desempenho energético, minimização dos efeitos de ilhas de calor, uso de energia renovável, promoção do conforto térmico e estratégias de ventilação natural. Em relação aos materiais urbanos, são: reutilização de edificações, uso de materiais reciclados e regionais, gestão de resíduos da construção, adoção de materiais de rápida renovação, utilização de madeira certificada e escolha de materiais com baixa emissão de gases (Goulart, 2009).

A intensa urbanização, caracterizada pela expansão de edificações e infraestruturas, gera impactos ambientais significativos, não apenas pela ocupação

de áreas naturais, mas também em função dos materiais utilizados nas construções. Esses materiais possuem propriedades térmicas distintas, como a capacidade calorífica e a emissividade, que influenciam diretamente na forma como a radiação solar é absorvida, refletida ou emitida, afetando, assim, o microclima urbano.

3.5.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS

A Agenda 2030 é uma iniciativa da Organização das Nações Unidas (ONU) que estabelece um compromisso global para promover o desenvolvimento sustentável. Seu objetivo principal é assegurar o desenvolvimento humano e o atendimento às necessidades essenciais dos indivíduos, por meio de processos econômicos, políticos e sociais que respeitem o meio ambiente e promovam a sustentabilidade (Moreira *et al.*, 2019).

A Agenda 2030 aborda questões relacionadas às dimensões ambiental, social, econômica e institucional do desenvolvimento sustentável. Ela é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), 169 metas e 232 indicadores, além de uma Declaração que inclui a visão, os princípios e os compromissos compartilhados (Kronemberger, 2019).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram definidos em setembro de 2015, por meio da Resolução 70/1, aprovada durante a Assembleia Geral das Nações Unidas. A criação dos ODS teve como fundamento a proposta apresentada pelo Grupo de Trabalho Aberto da ONU (GTA) em setembro (Kroll, 2015).

A legislação brasileira inicia a busca pela promoção do equilíbrio entre o avanço socioeconômico e a preservação ecológica com a publicação da Lei nº 6.938/1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente. Essa política incentiva o desenvolvimento de processos produtivos eficientes e tecnológicos, além da racionalização dos recursos disponíveis. Essa lei pode ser ponderada com o ponto de partida para as licitações sustentáveis no Brasil (Ferraz, 2021).

Essa meta será orientada por ações sustentáveis, exigindo esforços para sua viabilização. Nesse sentido, até 2030, deve-se garantir o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis aos serviços de energia renovável. Conseqüentemente, espera-se uma melhoria na eficiência energética. É

fundamental promover um crescimento econômico inclusivo e sustentável, com a criação de empregos plenos e o aumento da produtividade comercial nos países em desenvolvimento, por meio da Iniciativa de Apoio ao Comércio “Aid for Trade”, que oferece assistência às nações menos desenvolvidas (ONU Brasil, 2022).

No contexto da sustentabilidade, a tecnologia desempenha um papel estratégico essencial, pois a disseminação e o acesso global à ciência em condições proporcionadas possibilitam a capacitação de indivíduos para implementar os objetivos propostos, promovendo a sustentabilidade e acelerando o progresso ao cumprimento da Agenda 2030. No âmbito do comércio internacional, a meta é fortalecer o sistema multilateral, ampliando as exportações de países em desenvolvimento e garantindo o acesso livre de cotas e tarifas para os países menos desenvolvidos. Por fim, no que tange às questões sistêmicas, destacam-se propostas de aprimoramento da governança macroeconômica global, com o fomento a parcerias público-privadas e o fortalecimento de iniciativas específicas ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) de cada nação (Lima, 2014).

3.6 Áreas Verdes

De acordo com Herculano (2000), a qualidade de vida pode ser analisada com base em fatores como a proporção de áreas verdes e a disponibilidade de espaços abertos urbanos.

O conceito de áreas verdes é abordado de maneira diversa na literatura acadêmica, variando conforme os enfoques ecológico, urbanístico e social. No entanto, a Resolução CONAMA nº 369/2006, em seu Art. 8º, § 1º, oferece uma definição normativa relevante ao estabelecer que “áreas verdes correspondem a espaços livres dotados de cobertura vegetal, cujas funções envolvem a oferta de benefícios socioecológicos e a promoção do bem-estar da população” (Brasil, 2006). Essa definição institucionaliza a importância desses espaços como elementos estratégicos na promoção da sustentabilidade urbana e da qualidade de vida.

As áreas verdes públicas urbanas podem ser definidas como espaços multifuncionais que desempenham funções sociais e culturais essenciais, exercendo um papel significativo na melhoria da qualidade de vida da população (Mattos; Constantino, 2019).

Barros e Barbosa (2021) definem as áreas verdes urbanas como conjuntos de espaços localizados no interior do perímetro urbano, caracterizados por diferentes dimensões e tipos de cobertura vegetal, os quais desempenham um papel fundamental na melhoria da qualidade ambiental e na oferta de benefícios ecológicos, sociais e funcionais à população urbana.

Sousa *et al.* (2022) destacam que as áreas verdes urbanas desempenham um papel fundamental na promoção da saúde física e mental da população, além de funcionarem como ambientes propícios à educação ambiental, contribuindo significativamente para a elevação da qualidade de vida nos centros urbanos.

A adoção de estratégias voltadas para a mitigação dos impactos das ilhas de calor é crucial para enfrentar os desafios impostos pelo aumento das temperaturas nas áreas urbanas e para melhorar a qualidade de vida dos habitantes. Entre as abordagens mais eficazes está a ampliação da cobertura vegetal, que desempenha um papel fundamental na redução das temperaturas locais, promovendo a evaporação da água, oferecendo sombra e criando microclimas mais amenos. Ademais, a vegetação contribui com a melhoria da qualidade do ar, ao filtrar poluentes atmosféricos e aumentar a umidade relativa do ar (Ribeiro *et al.*, 2021).

Para que as áreas verdes urbanas possam desempenhar suas funções de forma satisfatória e sustentável, é necessário levar em conta os efeitos adversos decorrentes da urbanização, é imprescindível a integração de conhecimentos ecológicos no planejamento urbano. Ressalta-se, ainda, que o espaço urbano pode, em determinadas circunstâncias, não favorecer o bem-estar humano, especialmente em contextos nos quais as áreas verdes são ausentes ou distribuídas de maneira desigual no território urbano (Panagopoulos *et al.*, 2016).

Os parques urbanos representam importantes tipologias de áreas verdes capazes de promover a coesão social e contribuir significativamente com a melhoria da qualidade de vida da população. Para que esses benefícios sejam plenamente efetivados, é fundamental que esses espaços estejam distribuídos de maneira equitativa entre os bairros das cidades, garantindo o acesso e reduzindo desigualdades socioespaciais (Panagopoulos *et al.*, 2016).

Diante do acelerado crescimento urbano e econômico, torna-se imperativo desenvolver estratégias de mitigação que equilibrem as demandas impostas pelo modelo capitalista com a conservação dos recursos naturais, uma vez que a intensificação das pressões antrópicas sobre os ecossistemas tende a comprometer

a produção e a continuidade dos serviços ecossistêmicos essenciais às atuais e futuras gerações (Santos; Gutierrez, 2023).

3.6.1 Índices de Áreas Verdes

Quantificar uma vegetação urbana é essencial para subsidiar diagnósticos ambientais e avaliar a qualidade de vida nas cidades. A diversidade de definições atribuídas à vegetação presente nos espaços urbanos é acompanhada por uma ampla gama de métodos utilizados para sua mensuração, refletindo distintas abordagens conceituais e objetivos analíticos.

Entre os principais indicadores utilizados, destaca-se o Índice de Cobertura Vegetal (ICV), que representa a proporção da área coberta por vegetação em relação à área total de uma unidade territorial, sendo expresso em metros quadrados ou quilômetros quadrados absolutos e em percentuais relativos (Nucci; Cavalheiro, 1999). Outro indicador amplamente empregado é o Índice de Áreas Verdes por Habitante, calculado pela razão entre a área de espaços livres de uso público e o número de habitantes de determinada localidade (Toledo; Santos, 2009). Este índice é particularmente relevante por permitir comparações entre diferentes contextos urbanos e avaliar a disponibilidade de infraestrutura verde *per capita*.

Índices e indicadores constituem instrumentos analíticos fundamentais para a descrição das características de um fenômeno e para a avaliação de sua dinâmica espacial e temporal (Pnuma, 2003). Sua principal função é subsidiar a produção de diagnósticos e análises que orientem a formulação e o monitoramento de políticas públicas. Além disso, possibilitam a representação simplificada de fenômenos complexos, facilitando a construção de séries históricas a partir dos dados coletados (Sepe; Gomes, 2008).

A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) estabelece como valor mínimo para áreas verdes públicas 15 m² por habitante (SBAU, 1996). Por sua vez, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda um mínimo de 12 m² de área verde por habitante nas áreas urbanas. No entanto, estudos indicam que esse valor é insuficiente, sendo ideal a presença de pelo menos 36 m² de área verde ou três árvores por habitante (SBAU, 1996). Tendo em vista que esses índices são fundamentais para avaliar a qualidade ambiental de uma localidade, optou-se por

adotar ambos os parâmetros, uma vez que são provenientes de órgãos de prestígio e referência mundial no que se refere às questões socioambientais.

Além de influenciar o conforto térmico, as condições climáticas também exercem impacto significativo sobre os índices de cobertura vegetal observados nas cidades. Moura e Nucci (2005) proferem que os centros urbanos localizados em regiões onde a evapotranspiração é inferior à precipitação tendem a apresentar melhor potencial para o desenvolvimento de cobertura vegetal. Em contrapartida, cidades situadas em zonas áridas ou desérticas, por suas limitações climáticas, registram índices substancialmente menores. Nowak *et al.* (1996) destacam estudos que identificaram cobertura de copas arbóreas variando entre 15% e 55% em cidades inseridas em áreas florestais, enquanto localidades em regiões desérticas apresentaram índices entre 0,4% e 26%. Essas variações evidenciam a complexidade de se estabelecer um valor “ideal” único de cobertura vegetal para todas as cidades brasileiras, dada a diversidade climática e biogeográfica do país.

A aplicação do Índice de Área Verde (IAV) como instrumento de análise da qualidade ambiental urbana tem se mostrado eficaz para avaliar a disponibilidade e a distribuição dos espaços vegetados em diferentes contextos municipais. Toledo *et al.* (2009), ao aplicarem o IAV para o perímetro urbano de Uberlândia (MG), identificaram uma redução do índice ao longo do tempo, passando de 7,6 m² por habitante em 2000 para 6,6 m² em 2006. Além da tendência de queda, os autores destacam uma acentuada disparidade espacial na distribuição das áreas verdes.

De forma semelhante, Costa e Ferreira (2011) calcularam o IAV para a cidade de Juiz de Fora (MG), com base na população estimada para 2010 (570.117 habitantes), obtendo o valor de 9,3 m² por habitante. Mesmo que esse número seja ponderado como satisfatório sob o ponto de vista quantitativo, as autoras observaram que, ao analisar a distribuição por Região e Setor Urbano, as áreas verdes estavam concentradas em um único setor da cidade, revelando um desequilíbrio territorial e comprometendo a efetiva contribuição desses espaços para a qualidade de vida da população como um todo.

O estudo de Marques e Barros (2014) sobre o município de Maringá (PR) revelou um IAV de 66,09 m² por habitante, valor amplamente superior ao parâmetro mínimo de 15 m² per capita proposto pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU, 1996). O índice elevado está diretamente associado com uma

política urbana consolidada de valorização das áreas verdes e ao ordenamento espacial planejado da cidade.

Villwock *et al.* (2018), ao aplicarem o IAV no município de Terra Boa (PR), encontraram um índice de 38,49 m² por habitante. Para os autores, a adequada distribuição dessas áreas verdes ao longo do tecido urbano favorece uma condição ambiental de alta qualidade para a maior parte da população.

Tais estudos caracterizam alguns exemplos que demonstram a eficácia da metodológica do IAV como ferramenta de diagnóstico ambiental e urbanístico, além de sua relevância para subsidiar políticas públicas de planejamento urbano sustentável, especialmente no que diz respeito à equidade socioespacial na oferta de infraestrutura verde.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo (FASE 1)

O município de Cascavel está localizado no oeste do Paraná. É tido como um núcleo urbano de grande importância que norteia a economia de suas microrregiões, conhecido como polo econômico da região Oeste do Paraná, sendo ponderada como uma cidade planejada, com ruas e avenidas largas, em bairros bem distribuídos. Segundo estimativa do censo do IBGE, em 2022, a população estimada foi de mais de 336 mil habitantes, com densidade demográfica de 156,3 habitantes por km². A cidade se destaca como um polo universitário e cultural, como também pela grande produção agrícola.

O município possui área de 2.100,831 km² com altitude média de 781 metros, com as coordenadas geográficas: Latitude: 24° 57' 20" Sul, Longitude: 53° 27' 19" Oeste (Figura 3), pertencendo ao Terceiro Planalto Paranaense, com distância de 515 km a oeste de Curitiba e 143 km de Foz do Iguaçu (IBGE, 2022).

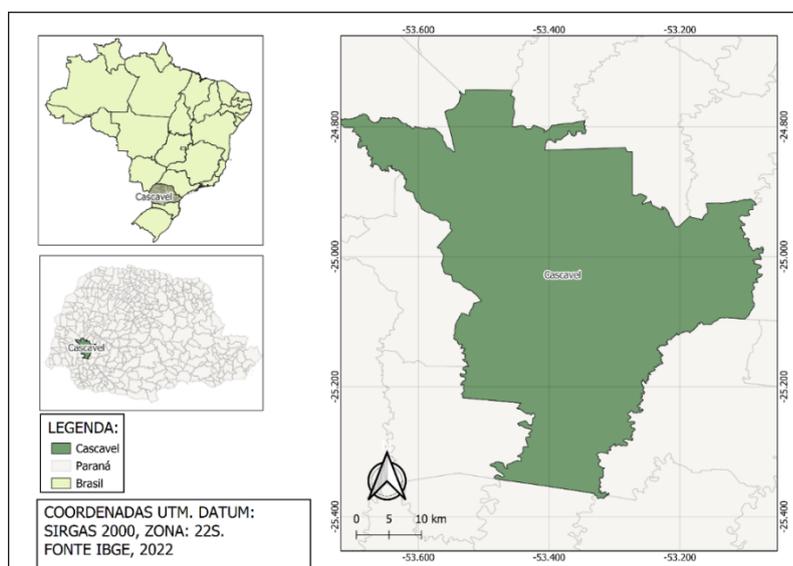
Sua principal economia é o agronegócio, possuindo mais de 4.000 estabelecimentos agropecuários, com grande produção de soja, trigo e milho. A hidrografia de Cascavel se predomina os rios São Francisco, Lopeí e rio das Antas, possuindo também numerosos córregos.

O município pertence ao bioma da Mata atlântica, representada na região pela tipologia denominada de Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista, a vegetação regional pode ser classificada como uma área de tensão ecológica, ou seja, é caracterizada por uma zona de contato entre duas classes de formações florestais: a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual. Desta forma, a região de Cascavel está sob o domínio de uma zona de tensão ecológica ou ecótono, sendo caracterizada por uma vegetação de transição onde a mesma não assume uma identidade definida devido à ocorrência de espécies de ambas as floras (Cascavel, Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2015).

De acordo com a classificação climática de Köppen (2023), Cascavel possui um clima Subtropical úmido mesotérmico, sujeito a temperaturas elevadas no verão

e a geadas no inverno. O município possui uma temperatura média superior a 22°C nos meses mais quentes, e inferiores a 18°C nos meses mais frios. Tendo umidade em torno de 75%.

Figura 2 - Mapa localização de Cascavel – PR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.2 Coleta de Dados (FASE 2)

A imagem de satélite utilizada foi obtida na plataforma Earth Explorer da USGS. A escolha desta imagem baseou-se na baixa cobertura de nuvens (20%), que abrangeu toda a área de estudo, permitindo uma análise com mínima interferências atmosféricas e eliminando a necessidade de criar um mosaico de imagens.

As imagens têm como sistema de coordenadas o *Universal Transverso de Mercator* (UTM), com Datum EPSG: 4674 Sirgas 2000, e resolução espacial de 30 metros.

Para a obtenção das bases de dados geográficos, bem como para a análise e integração dos mesmos, a fim de obter informações compostas sobre a área de estudo, edição de arquivos no formato vetorial e elaboração dos mapas finais, utilizou-se um Sistema de Informação Geográfica (SIG), denominado QGIS, na versão 3.40.

Após a escolha da área, utilizou-se os dados obtidos pelo satélite Landsat 8, com o sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS), com a escolha de dois períodos diferentes (2014 e 2024), do período do verão, sendo os meses de janeiro, fevereiro e março os meses escolhidos. Os mapas foram realizados abrangendo a área total do município, como somente da área urbana, para melhor visualização da variação da temperatura e das áreas verdes.

4.3 Elaboração dos Mapas

4.3.1 Mapeamento da temperatura

Para a análise da Temperatura da Superfície Terrestre (TST), foram utilizados dados provenientes do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) do satélite Landsat 8, referentes à órbita 215, ponto 74 e horário central de 9h37. A banda empregada foi a banda 10, correspondente à faixa do infravermelho termal (10,6 a 11,19 μm), cuja resolução espacial é de 30 metros. Para complementação dos dados, foram utilizadas as informações em formato *shapefile* referentes ao limite municipal e bairros, obtido no IBGE (2013).

A estimativa da TST foi realizada a partir da banda 10 do sensor TIRS, sendo necessária a padronização das unidades de medida térmica empregadas nos dados de sensoriamento remoto. Mesmo que os dados brutos do satélite geralmente estejam expressos em Kelvin (K), recomenda-se a conversão para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) para facilitar a interpretação dos resultados e a compatibilização com análises ambientais e urbanas.

A conversão foi realizada por meio do software QGIS na versão 3.40, utilizando a ferramenta Calculadora de Raster, que permite operações matemáticas diretamente sobre as bandas raster. Inicialmente, a imagem raster representando a temperatura em Kelvin foi carregada no ambiente QGIS a partir da funcionalidade de inserção de camadas raster. Em seguida, acessou-se o menu Raster > Calculadora Raster, em que foi definida a expressão matemática da conversão térmica. A fórmula aplicada foi:

$$\text{"LST_Kelvin@1"} - 273,15$$

(1)

Onde, "LST_Kelvin@1" representa a primeira banda do raster de temperatura, e o valor 273,15 refere-se à conversão entre as unidades, de acordo com a equação:

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

O produto resultante foi exportado em formato GeoTIFF, com tipo de dado definido como Float32, garantindo a precisão nos valores contínuos de temperatura. O raster convertido serviu como base para análises subsequentes, como a identificação de áreas com maior concentração de calor urbano e sua relação com a cobertura vegetal.

4.3.2 Mapeamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

A aplicação do Índice de Área Verde (IAV) não constitui uma prática recente, sendo empregada por diversos pesquisadores em diferentes contextos do território nacional. Ressalta-se que os espaços urbanos, apesar de apresentarem características heterogêneas do ponto de vista histórico, de expansão do ambiente construído, bem como sob os aspectos culturais, econômicos e demográficos, são essenciais para a análise quantitativa do IAV. Essa diversidade contribui, sobretudo, para a estimativa de valores médios comparativos entre estudos distintos, além de ser relevante para a avaliação qualitativa da adequação e efetividade desses índices nos diferentes contextos urbanos.

Foi levada em conta a cobertura vegetal consolidada e contínua, isto é, a vegetação arbórea mais densa, que integra as áreas do Parque Municipal, das Áreas de Preservação Permanente (APPs), da reserva legal e dos bosques urbanos localizados no centro da cidade. Não foram incluídas na contagem as árvores situadas em canteiros centrais, calçadas e terrenos particulares. Essa escolha metodológica segue a orientação de Nucci e Cavalheiro (1999), que argumentam que a cobertura vegetal arbórea presente em áreas livres de edificações é composta, predominantemente, por vegetação densa.

O IAV é a razão entre a área coberta por vegetação (m²) e o número de habitantes, expressando a quantidade média de área verde disponível por habitante em uma determinada unidade territorial (ex: bairro, setor censitário ou zona urbana).

Com as imagens de satélites já obtidas por intermédio da plataforma Earth Explorer da USGS e exportadas no programa Qgis, realizou-se o recorte dos limites da malha urbana obtidas com base no IBGE (2022).

Em seguida, utilizou-se o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para realçar áreas com vegetação, por meio do cálculo realizado pela calculadora raster, conforme a equação 3.

$$NDVI = \frac{Banda_Infravermelho - Banda_Vermelha}{Banda_Infravermelho + Banda_Vermelha} \quad (3)$$

No satélite do Landsat 8, a respectiva banda é a Banda 5: Infravermelho Próximo (NIR): 0.85 – 0.88 µm e Banda 4: Vermelho (Red): 0.64 – 0.67 µm.

4.3.3 Análises Estatísticas

Para a realização da avaliação dos dados, foram realizadas análises estatísticas descritivas, seguidas da verificação de normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk, recomendado para amostras de pequeno e médio porte (Shapiro; Wilk, 1965). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R, amplamente utilizado para análises estatísticas e manipulação de dados. Sendo as variáveis analisadas o comportamento das variáveis ao longo do tempo, com enfoque na verificação de normalidade e na comparação estatística entre os períodos.

Esse teste avalia a adequação dos dados à distribuição normal com base nas seguintes hipóteses:

- H₀: Os dados seguem uma distribuição normal;
- H₁: Os dados não seguem uma distribuição normal.

Foi adotado um nível de significância de $\alpha = 0,05$ conforme recomendações estatísticas (Sampaio, 2010). Deste modo, os valores de $p > 0,05$ indicam aceitação da hipótese nula, confirmando a normalidade dos dados, enquanto $p \leq 0,05$ leva à

rejeição da hipótese nula, sugerindo que os dados não seguem uma distribuição normal.

Para o conjunto de dados de Temperatura de Superfície (TS), o teste de Shapiro-Wilk foi realizado separadamente para cada mês dos períodos indicados (2014 e 2024), tendo em vista os valores médios diários coletados. Para o NDVI, o teste de normalidade também foi realizado para os dados dos anos de 2014 e 2024.

Após a verificação da normalidade, procedeu-se à análise de comparação de hipóteses entre os valores de NDVI e TS, por meio do teste de correlação de Pearson, o qual avalia o grau e a direção da associação linear entre as variáveis (Pearson, 1895). Foram calculados os coeficientes de correlação (r) com seus respectivos limites inferior e superior do intervalo de confiança, além do valor de p para teste de significância:

- H_0 : Não há correlação linear significativa entre as variáveis;
- H_1 : Existe correlação linear significativa entre as variáveis.

Foi ponderada como significativa a correlação quando $p < 0,05$.

4.4 Influência de Áreas Verdes na Qualidade de Vida (FASE 3)

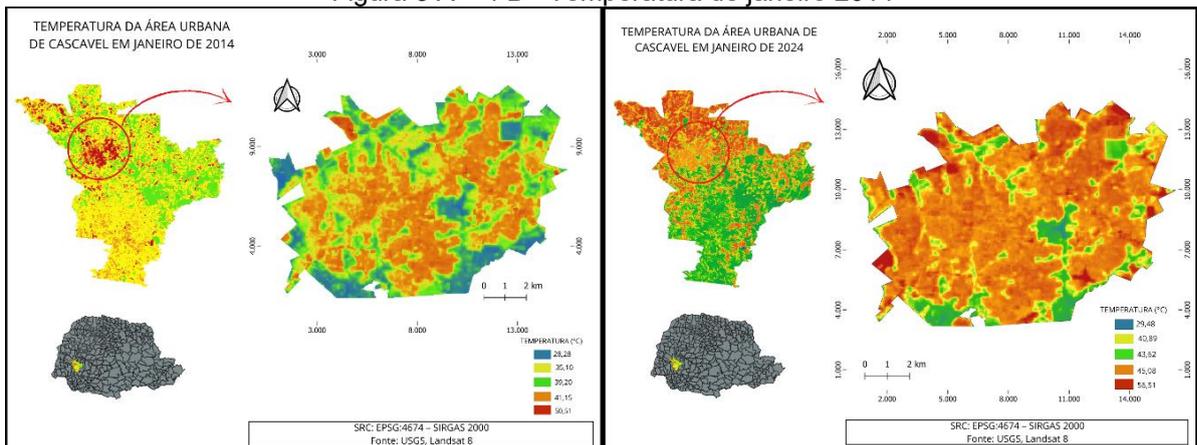
O município de Cascavel, localizado na região Oeste do estado do Paraná, revelou um total estimado de aproximadamente 81.000 árvores urbanas (Cascavel, 2025), o que equivale a uma razão de uma árvore para cada 4,3 habitantes. Apesar da presença arbórea, esse índice está aquém das diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que recomenda a disponibilidade mínima de 36 m² de área verde por habitante ou, alternativamente, três árvores por pessoa para garantir condições adequadas de qualidade ambiental e bem-estar urbano. Com uma extensão territorial de 2.091 km², Cascavel enfrenta desafios no que tange à expansão e qualificação de sua infraestrutura verde urbana (Revista Nova Fase, 2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises dos dados de Temperatura da Superfície Terrestre (LST) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permitiu identificar alterações significativas no ambiente urbano do município de Cascavel.

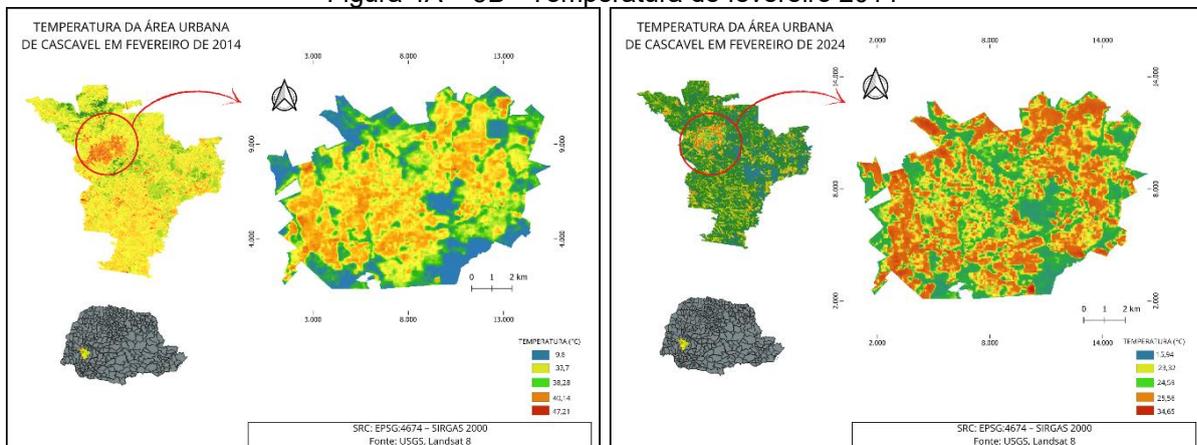
Nas Figuras 4A e 4B, 5A e 5B, 6A e 6B, são consideradas a temperatura do município de Cascavel – PR,) para os meses de janeiro, fevereiro e março nos anos de 2014 e 2024, observando uma grande diferença de temperatura no ambiente urbano. Nota-se a existência de áreas com temperaturas mais elevadas, principalmente nas regiões mais densamente urbanizadas, e temperaturas mais amenas nas áreas com maior cobertura vegetal.

Figura 3 A – 4 B - Temperatura de janeiro 2014



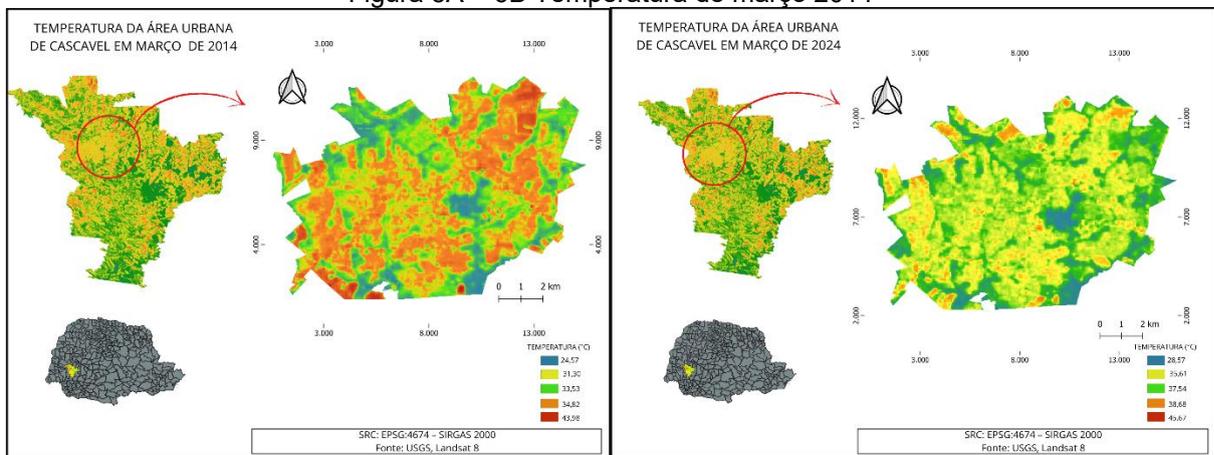
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 4A – 5B - Temperatura de fevereiro 2014



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 5A – 6B Temperatura de março 2014

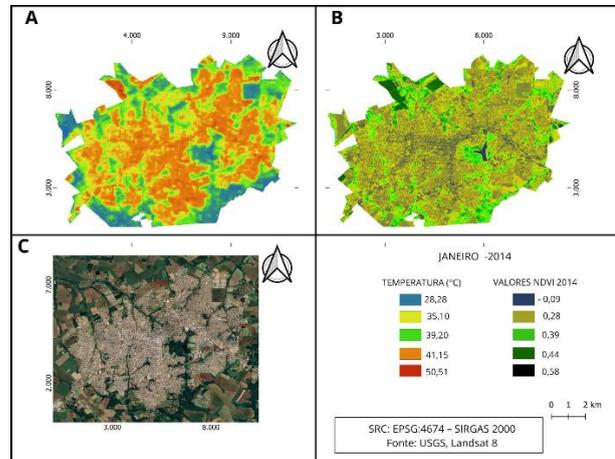


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De forma geral, a comparação temporal ressalta uma elevação consistente das temperaturas de superfície ao longo da década, com máximas mais altas, maior expansão das áreas quentes e redução da heterogeneidade térmica espacial.

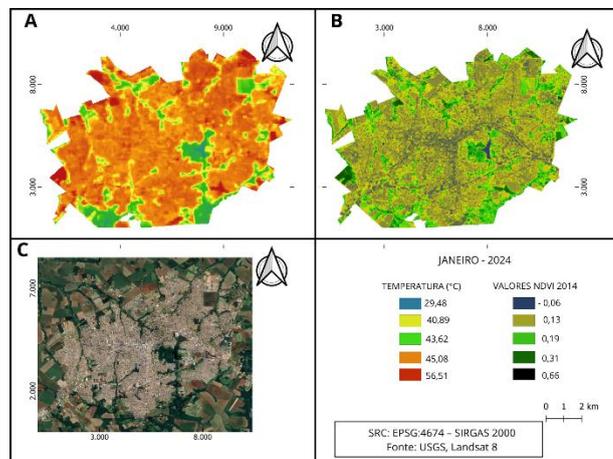
Para aprofundar essa análise, o segundo conjunto de mapas (Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12) oferece uma comparação mais detalhada. A imagem (A) mostra novamente a distribuição das temperaturas superficiais, permitindo uma visualização mais aproximada dos padrões térmicos intraurbanos. Em seguida, a imagem (B) exhibe o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o que permite comparar a distribuição da vegetação com os padrões de temperatura. Essa relação entre cobertura vegetal e temperatura superficial é fundamental para entender as ilhas de calor urbano e os efeitos da presença (ou ausência) de áreas verdes. Por fim, a imagem (C) mostra a cena de satélite da cidade, permitindo associar visualmente os pontos mais quentes e frios aos usos e coberturas do solo.

Figura 6 – Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de janeiro de 2014 e 2024. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 8 - Temperatura de superfície (ts) em °C e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do mês de janeiro de 2014 e 2024. painel – a: ts em 2024. painel – b: NDVI em 2024. painel – c: imagem em satélite



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Segundo as Figuras 7 e 8, as áreas com temperaturas mais elevadas (representadas pelos tons alaranjados e vermelhos) ocuparam uma área territorial maior, principalmente nas regiões centrais e urbanizadas, caracterizando as ilhas de calor urbano.

Em janeiro de 2014 (Figura 1A), as temperaturas variavam entre 28,28 °C e 50,51 °C, com uma distribuição relativamente equilibrada entre áreas de temperaturas moderadas (35,10 °C a 39,20 °C) e zonas mais aquecidas (acima de

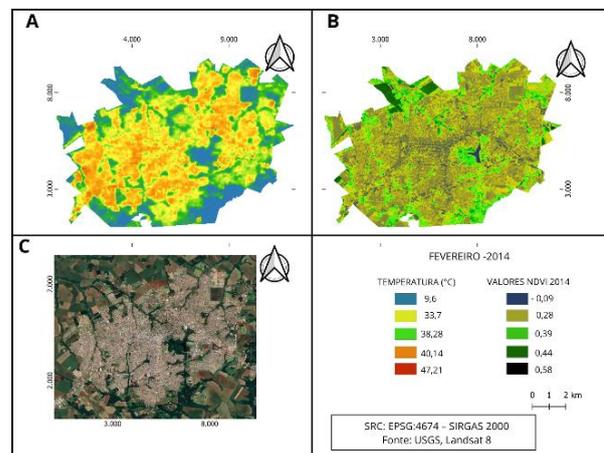
41 °C). Já em 2024 (Figura 2A), verificou-se o aumento geral das temperaturas, com variações de 29,48 °C a 56,51 °C e maior predominância de áreas nas faixas superiores (acima de 43 °C), mostrando uma intensificação do efeito de ilha de calor urbana.

As imagens de satélite em alta resolução (Google Maps), tal como mostram as Figuras 1C e 2C, quando confirmam o avanço do processo de urbanização e, conseqüentemente, a substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, o que contribui diretamente com o aumento da temperatura de superfície e com a diminuição do conforto térmico.

Em relação ao mês de fevereiro dos anos de 2014 e 2024, ocorreram mudanças significativas nas dinâmicas ambientais e territoriais (Figuras 9 e 10).

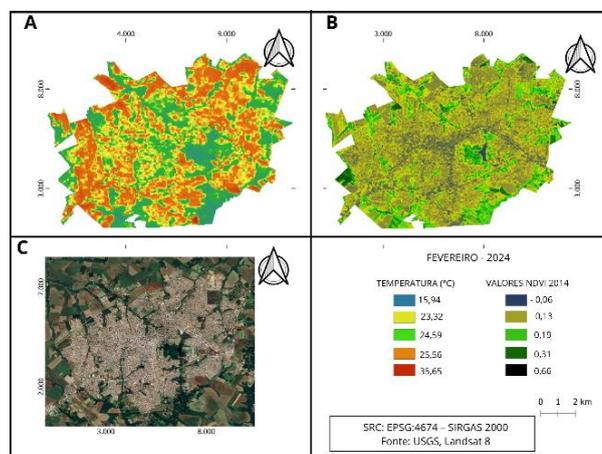
A elevação nas temperaturas médias de superfície ao longo da década é coerente com a literatura científica, que associa o crescimento urbano desordenado e a substituição de superfícies naturais por materiais impermeáveis à intensificação do aquecimento local (Oke, 1982; Rosa *et al.*, 2019).

Figura 9 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de fevereiro de 2014. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 10 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de fevereiro de 2024. Painel – A: TS em 2024. Painel – B: NDVI em 2024. Painel – C: Imagem em satélite.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em fevereiro de 2014, os valores de temperatura superficial variaram entre 9,6 °C e 47,21 °C. Como demonstrado na Figura 9, ocorreu uma predominância de áreas com temperaturas intermediárias (tons esverdeados e amarelos). As zonas urbanas centrais, por sua vez, concentraram as temperaturas mais elevadas, configurando as denominadas Ilhas de Calor Urbano.

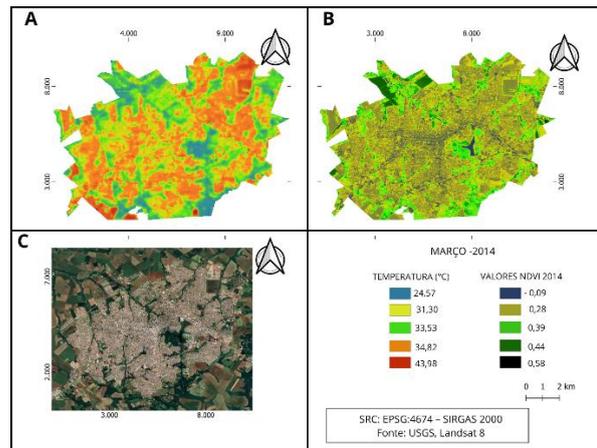
Para o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014), a região Oeste do estado do Paraná apresentou temperaturas superiores à média climatológica em fevereiro de 2014, em acordo com a tendência global de aquecimento observada naquele ano, tendo em vista um dos mais quentes já registrados até então. Com clima subtropical e temperatura média anual em torno de 20 °C, o Oeste paranaense possivelmente experimentou anomalias térmicas significativas nesse período.

Já no ano de 2024, os valores da temperatura tiveram variação de 15,94 °C a 35,65 °C (Figura 10). Mesmo que o valor máximo registrado seja inferior ao observado em 2014, ocorreu o aumento significativo nas temperaturas mínimas, o que resulta em menor amplitude térmica e em um ambiente urbano caracterizado por aquecimento generalizado.

As imagens reforçam a expansão da malha urbana e a intensificação da ocupação de áreas anteriormente vegetadas, o que impacta diretamente na elevação das temperaturas e na redução da qualidade ambiental.

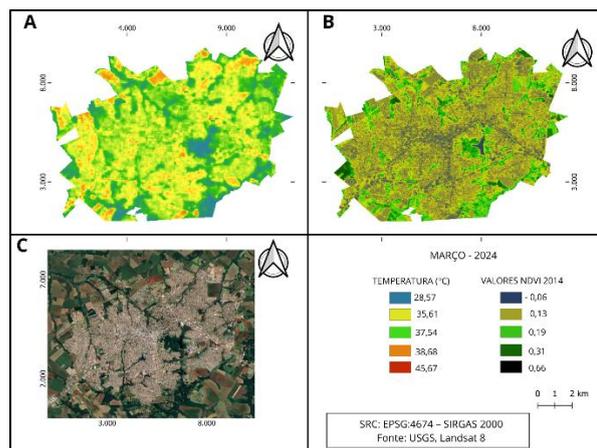
Para o mês de março nos anos de 2014 e 2024, a análise comparativa das imagens revelam variações tanto nos valores de temperatura de superfície quanto no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), refletindo alterações no uso e cobertura do solo ao longo da década (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de março de 2014 e 2024. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 12 - Temperatura de Superfície (TS) em °C e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do mês de março de 2014 e 2024. Painel – A: TS em 2014. Painel – B: NDVI em 2014. Painel – C: Imagem em satélite.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Observa-se que, em 2014 (Figura 11 A), as temperaturas variavam de 24,57 °C a 43,98 °C, com predominância de faixas intermediárias (31,30 °C a 34,82 °C)

distribuídas ao longo da área urbana. Para o ano de 2024 (Figura 12 A), os valores de temperatura apresentaram um aumento, situando-se entre 28,57 °C e 45,67 °C, verificou-se um aumento na frequência de áreas com temperaturas superiores a 35 °C, especialmente nos núcleos urbanos mais consolidados demonstrando, assim, um aumento térmico sendo indicativo do intensificado efeito de ilha de calor urbana.

Em relação ao NDVI, também apresentaram alterações em 2014. Os valores oscilaram entre -0,09 e 0,58, sendo perceptível uma presença mais expressiva de áreas com índices elevados (acima de 0,4), indicativas de vegetação densa e saudável, ao passo que em 2024 a faixa variou de -0,06 a 0,66. Apesar de valores máximos serem superiores (atingindo 0,66), ocorreu a redução generalizada de áreas com NDVI elevado e um aumento das zonas com índices mais baixos, abaixo de 0,3. Tal cenário sugere um processo de diminuição da cobertura vegetal, possivelmente decorrente de processos de urbanização e expansão da malha construída (Corrêa; Souza, 2021).

Nos respectivos anos, as áreas centrais urbanizadas tiveram os menores índices, o que indica uma escassa cobertura vegetal, enquanto as regiões mais afastadas do centro e zonas agrícolas exibiram maiores valores, refletindo a presença de vegetação densa e áreas verdes.

Diante disso, os dados demonstram uma clara correlação entre o aumento da temperatura superficial e a redução ou fragmentação da cobertura vegetal, especialmente nas áreas urbanizadas, fenômeno que se intensificou no período de 10 anos analisado.

Para verificar a normalidade dos dados de Temperatura de Superfície (TS), foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para cada período analisado, apropriado para amostras de pequeno porte recomendado para amostras de pequeno e médio porte (Shapiro; Wilk, 1965).

Os resultados salientados na Tabela 2 indicaram valores de significância (p-valor) superiores a 0,05 para todas as séries analisadas, não sendo possível rejeitar a hipótese nula de normalidade. Assume-se que as séries de temperatura para os períodos de 2014 e 2024 seguem uma distribuição normal, permitindo a utilização de testes estatísticos paramétricos nas análises subsequentes (Sampaio, 2010).

Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis Temperatura(TS) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

TS (°C)						Shapiro W	Shapiro P	Shapiro W	Shapiro P
jan./14	28,28	35,1	39,2	41,15	50,51	0,986	0,966	0,933	
fev./14	9,6	33,7	38,28	40,14	47,21	0,853	0,206		
mar./14	24,57	31,3	33,53	34,82	43,98	0,964	0,837		
jan./24	29,48	40,89	43,62	45,08	56,51	0,961	0,82	0,984	
fev./24	15,94	23,32	24,59	25,56	34,65	0,944	0,695		
mar./24	28,57	35,61	37,54	38,68	45,67	0,97	0,877		

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Da mesma forma, os resultados do teste de Shapiro-Wilk para o NDVI indicaram p-valores de 0,483 em 2014 e 0,763 em 2024, igualmente superiores ao nível de 0,05. Assim, também as séries de NDVI podem ser consideradas normalmente distribuídas.

Para investigar a relação entre TS e NDVI nos anos de 2014 e 2024, realizou-se uma análise de correlação linear de Pearson (Tabela 3). Os resultados demonstraram correlação negativa para os dois anos, ou seja, as áreas com maior índice de vegetação tiveram temperaturas de superfície mais baixas.

Tabela 7 - Teste de hipóteses par-a-par utilizando o teste Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner para Temperatura de Superfície (TS) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) entre os diferentes anos ($\alpha = 0,05$).

NDVI						Shapiro W	Shapiro P	Perason P	Pearson R Inferior	Perason R Superior	Pearson R Superior
ano 2014	-0,09	0,28	0,39	0,44	0,58	0,912	0,483	0,000009	0,691	0,888	0,962
ano 2024	-0,06	0,13	0,19	0,31	0,66	0,953	0,763	0,01	0,188	0,639	0,967

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em 2014, o coeficiente de correlação de Pearson (r) foi de -0,888, com intervalo de confiança de 95% entre -0,962 e -0,691, e p-valor altamente significativo ($p = 0,000009$), indicando uma forte correlação negativa entre NDVI e TS naquele período.

Já em 2024, o coeficiente de correlação de Pearson (r) foi de $-0,639$, com intervalo de confiança entre $-0,867$ e $-0,188$, e p -valor de $0,01$. Sendo assim, a correlação em 2024 foi consideravelmente menor do que em 2014.

Esta diminuição da correlação pode estar associada à perda de cobertura vegetal observada nas imagens e valores médios de NDVI, estando associada ao avanço da urbanização, impermeabilização do solo e a substituição de áreas verdes por superfícies construídas, o que reduz o potencial de regulação térmica natural das cidades, intensificando o efeito de ilha de calor urbana, tal como descrito por Oke (1982) e corroborado por Rosa *et al.* (2019).

Os resultados quantitativos obtidos reforçam as evidências visuais exibidas nos mapas temáticos e indicam a necessidade de políticas públicas voltadas à proteção e incremento da vegetação urbana como estratégia para mitigação das ilhas de calor e melhoria da qualidade ambiental.

Tabela 8 - Variação percentual da Temperatura de Superfície (TS) entre os anos de 2014 e 2024

Mês	Média TS (2014)	Média TS (2024)	Variação (%)
Janeiro	38,85 °c	43,12 °c	+10,99% (aumento)
Fevereiro	33,79 °c	24,81 °c	-26,56% (queda)
Março	33,64 °c	37,21 °c	+10,62% (aumento)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De acordo com a Tabela 4, ocorreu o aumento significativo da TS nos meses de janeiro e março (cerca de 11%). Em fevereiro, ocorreu o contrário. A TS apresentou uma queda acentuada de 26,56%. A média geral dos três meses demonstrou uma pequena redução de 1,07% no período. Apesar do mês de fevereiro ter deixado a média geral mais baixa, há indícios de elevação da temperatura nos meses extremos da estação (janeiro e março), o que pode ser relevante ao se levar em conta o impacto climático sobre o microclima urbano e a vegetação.

6 CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa salientam a intensificação do efeito de ilha de calor urbano no município de Cascavel, diretamente relacionado ao avanço da urbanização desordenada, à crescente impermeabilização do solo e à redução da cobertura vegetal. A elevação das temperaturas mínimas e a diminuição da amplitude térmica observadas em 2024, em comparação com 2014, indicam um ambiente urbano progressivamente mais aquecido, com implicações diretas para o conforto térmico, o consumo energético e a saúde pública.

Mesmo que tenha sido verificado um leve incremento no NDVI máximo, tal fator isolado não se mostrou suficiente para mitigar os efeitos das ilhas de calor, sobretudo em função da fragmentação e da insuficiência das áreas verdes urbanas.

A análise estatística indicou que a correlação entre Temperatura de Superfície (TS) e NDVI diminuiu cerca de 28% de 2014 a 2024, demonstrando uma perda da capacidade da vegetação em regular a temperatura urbana. Essa queda está associada com a dispersão da cobertura vegetal, à urbanização acelerada e ao aumento das superfícies impermeáveis.

Apesar da média das temperaturas entre janeiro e março ter diminuído 1,07%, essa diminuição foi influenciada pela queda expressiva em fevereiro (-26,56%). Janeiro e março apresentaram aumentos superiores a 10%, sugerindo uma tendência de aquecimento nas bordas da estação quente, período em que o NDVI atua menos efetivamente no resfriamento ambiental.

Assim, é notória a necessidade de políticas públicas mais efetivas, que priorizem o planejamento urbano sustentável, a preservação dos remanescentes de vegetação e a ampliação das áreas verdes, especialmente nas regiões mais densamente urbanizadas. Tais ações são fundamentais para reduzir os impactos do processo de urbanização sobre o clima local, contribuindo com a mitigação do efeito de ilha de calor e para a promoção de ambientes urbanos mais resilientes, equilibrados e saudáveis.

Ressalta-se que os padrões de aquecimento identificados neste estudo seguem a tendência observada em diversos centros urbanos brasileiros, o que reforça a relevância de iniciativas locais articuladas a estratégias de adaptação e mitigação das mudanças climáticas em escala global.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. E. R. *et al.* Balanço de radiação através do satélite Landsat-8 na Bacia do Rio Pajeú. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, 2017.

BARROS, A. S.; BARBOSA, O. F. Áreas verdes urbanas e qualidade ambiental: uma abordagem integrada. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 23, n. 1, p. 143-159, 2021.

BOERI, S.; BARRECA, G.; VARRA, G. L. **Vertical Forest. Boeri-Stefano Boeri Architeti**, 2020, p. 1. Disponível em: <https://www.stefano-boeri-architetti.net/en/proect/vertical-forest/>. Acesso em: 29 set. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 369, de 28 de março de 2006. Dispõe sobre as áreas de preservação permanente – APPs, em margens de cursos d'água, situadas em áreas urbanas consolidadas. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 61, p. 71-72, 29 mar. 2006.

CAMARA, I. P. *et al.* Análise da qualidade de vida urbana sob a perspectiva dos espaços públicos de lazer em Videira, SC. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8662772>. Acesso em: 29 set. 2020.

CASCAVEL. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Plano Municipal de Arborização Urbana de Cascavel**. Cascavel, 2015. Disponível em: https://www.cascavel.pr.gov.br/arquivos/19082015_plan_ar_cascavel_2014.pdf. Acesso em: 1º jun. 2025.

CAVALCANTE, M. A.; LIMA, A. C.; ALMEIDA, A. N. Ilhas de calor urbanas: causas, efeitos e estratégias de mitigação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2534-2548, 2020.

CIDADE de Cascavel tem 81 mil árvores, mas ainda é pouco. **Revista Nova Fase**, 13 abr. 2023. Disponível em: <https://www.revistanovafase.com.br/post/10283/Cidade+de+Cascavel+tem+81+mil+arvores%2C+mas+ainda+e+pouco>. Acesso em: 12 maio 2025.

COELHO, A. L.; CORREA, M. R. Características técnicas e aplicações do satélite Landsat-8 no monitoramento ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 45-60, 2013.

COLTRI, P.P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo**: Análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto. Piracicaba. 2006. 166p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia). Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz/USP, 2006.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, RJ, 1991.

COSTA, F. G. *et al.* Intitulado O Fenômeno de Ilhas de Calor e o Papel da Arborização Urbana Para Mitigá-lo: Um Estudo em Ituverava, Região Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 11, 2023.

COSTA, L. S. S.; FERREIRA, M. P. Análise das áreas verdes urbanas de Juiz de Fora-MG: uma avaliação da qualidade ambiental urbana. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 13., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: ENGEMA, 2011.

CRISPIM, D. L. *et al.* Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do espaço urbano: um estudo de caso da cidade de Baixio/CE. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2021.

DASH, P. K. *et al.* Land surface temperature (LST) and emissivity estimation from NOAA AVHRR data: A case study from India. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 22, p. 5029-5045, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160210149894>.

DUARTE, P. C. **Utilização de imagens do satélite Landsat 8 para georreferenciamento e planejamento urbano**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

EBI, K. L. *et al.* Clima quente e extremos de calor: riscos à saúde. **Lancet** **398**, p. 698-708, 2021.

FERRAZ, L. R. Dez anos das licitações sustentáveis no Brasil: distância entre a previsão legal e a prática. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 18, n. 2, p. 114-131, 2021.

FIALHO, E. S.; AZEVEDO, T. R. Refletindo sobre o conceito de ilha de calor. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa: UFV, 2009. Disponível em: [Acesso em: 6 fev. 2012.](#)

FREITAS, E.; DIAS, P L.S. Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 355-366, 2005.

FREITAS, J. C. *et al.* Energias renováveis, clima e mudanças climáticas. **Revista gestão & sustentabilidade ambiental**, 2015.

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

GIONGO, A. **Avaliação do uso da terra e alterações ambientais por meio de sensoriamento remoto**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

GOMES, F. L. **Aplicações de imagens de satélite no monitoramento ambiental: estudo de caso com dados Landsat**. São Paulo: Editora Acadêmica, 2009.

GOULART, S. **Sustentabilidade no Edifício e no Espaço Urbano**. Laboratório de Eficiência Energética em edificações. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

GRIMM, N. B. *et al.* Mudança Global e ecológica das cidades. **Ciência**, v. 319, p. 756-760, 2008.

HALLEGATTE, S. *et al.* Futuras perdas causadas por enchentes nas principais cidades costeiras. **Nature Clim Change**, v. 3, p. 802-806, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate1979>.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. do V. **Introdução ao geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Jaguariúna - SP, Embrapa Meio Ambiente, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/15316/1/documentos67.pdf>. Acesso em: 2 maio 2025.

HERCULANO, S. C. A qualidade de vida e seus indicadores. *In*: HERCULANO, S. *et al.* (org.). **Qualidade de vida e riscos ambientais**. Niterói: Eduff, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Brasília: INMET, 2014. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 15 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em: 5 abr. 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Relatório Especial sobre o Aquecimento Global de 1,5°C**. Genebra: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em: 12 maio 2025.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2. ed. São José do Campos - SP. 2009. Disponível em: Acesso em: 12 jun. 2023.

KROLL, C. **Sustainable Development Goals: are the rich countries ready?** Bertelsmann Stiftung, 2015. Disponível em: <https://www.bertelsmannstiftung.de/en/publications/publication/did/sustainable-development-goals-are-the-richcountries-ready/>

KRONEMBERGER, D. M. P. Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. **Cienc. Cult.**, v. 71, n. 1, 2019.

LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. Academic Press, 1981.

LIMA, R. A. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da Mudança do Clima. **Revista Direito Energia**, v. 5, n. 4, p. 1-17, 2014.

MARQUES, R. M.; BARROS, R. M. Áreas verdes urbanas: uma análise da acessibilidade e da equidade ambiental em Maringá (PR). **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 16, n. 2, p. 73-89, 2014.

MASHIKI, M. Y.; CAMPOS, S. Geoprocessamento Aplicado na Influência do Uso e Ocupação do Solo na Temperatura Aparente da Superfície no Município de Botucatu/SP. 3. ed. **Energia na Agricultura**, v. 28, p. 143-149. DOI: 10.17224/EnergAgric.2013v28n3p143-149.

MATTHEW, D.; BLACKETT, M. A review of the capabilities of the Landsat 8 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor for urban land surface temperature analysis. **Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 9, p. 705-713, 2014.

MATTOS, K.; CONSTANTINO, N. Benefícios dos espaços verdes urbanos: valorização e avaliação pela população. **GOT, Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 16, p. 227-249, mar. 2019.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. 2. ed. Editora Contexto. 2011.

MORAIS, J. D. M. **Análise exploratória de diferenças de conforto térmico entre dois padrões de ocupação urbana representados por ocupação espontânea e por ocupação planejada**. 2011. 184f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.

MOREIRA, M. R. *et al.* O Brasil rumo a 2030? Percepções de especialistas brasileiros(as) em saúde sobre o potencial de o País cumprir os ODS Brazil heading to 2023. **Revista Saúde Debate**, v. 43, 2019.

MOREIRA, P. K. V. **Produção do espaço, qualidade de vida urbana e percepção dos moradores em Águas Claras**. Distrito Federal. 2015. p. 116. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, DF, 2015.

MOURA, S.; NUCCI, L. M. **A vegetação urbana e sua dinâmica ecológica**. São Paulo: Editora XYZ, 2005.

NAHAS, M. V. **Atividade física, saúde e qualidade de vida: conceitos e sugestões para um estilo de vida ativo**. 3. ed. Londrina: Midiograf, 2003.

NASCIMENTO, F. H. *et al.* Variação da Temperatura de Superfície através de Técnicas de Sensoriamento Remoto: Análise de dois Episódios para O Concelho de Coimbra, Portugal/2018. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 118-137, abr. 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/75954>. Acesso em: 4 maio 2022.

NAUMANN, S. *et al.* **Design, Implementation And Cost Elements Of Green Infrastructure Projects**. Final Report To The European Commission. 2011.

NIEMELÄ, J. Ecology and urban planning. **Biodiversity & Conservation, Dordrecht**, v. 8, p. 119-131, 1999.

NODARI, M. Z. R. **As contribuições do turismo para a economia de Foz do Iguaçu**. Monografia apresentada como requisito à conclusão do Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico, do Setor de Ciências Sociais Aplicadas, do Departamento de Economia, da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

NOVA AGENDA URBANA. **Habitat III**. Conferência das Nações Unidas sobre Habitação e Desenvolvimento Urbano Sustentável, 2017.

NOWAK, D. J. *et al.* Urban trees and forests: a review of the role of urban forests in sustainable development. **Journal of Arboriculture**, v. 22, n. 4, p. 174-181, 1996.

NUCCI, L. M.; CAVALHEIRO, M. A. **A vegetação e o ambiente urbano**. São Paulo: Editora XYZ, 1999.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, 1982.

OLIVEIRA FILHO, P. C. *et al.* A importância das áreas verdes em uma cidade de Pequeno porte: estudo de caso na cidade de Irati-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 89-99, 2013.

OLIVEIRA, J. L. M. *et al.* Índice de vulnerabilidade ambiental do município de Eunápolis-BA. **Revista de Geografia**, v. 39, n. 2, p. 225-249, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES PARA OS DIREITOS HUMANOS. “**Sem ação adequada temperatura global deve subir acima do limite de 2°C, alerta PNUMA**”. Disponível em:

http://ondh.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=48:sem-acao-adequada-temperatura-global-deve-subir-acima-do-limite-de-2dc-alerta-pnuma&catid=2:noticias&Itemid=3 Acesso em: 10 jun. 2023.

ONU BRASIL. **Os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil**. Nações Unidas Brasil. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 1º dez. 2024.

PANAGOPOULOS, T. *et al.* Urban green spaces and an integrative approach to sustainable environment. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, [S. l.], v. 23, n. 5, p. 463-477, 2016.

PEARSON, K. Notes on regression and inheritance in the case of two parents. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 58, p. 240-242, 1895.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Métrica e Indicadores. Relatório Síntese. Economia Verde. 2012

PORANGABA, G. F. O.; AMORIN, M. C. C. T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n. 06, p. 2041-2050, 2019.

RIBEIRO, H. *et al.* Clima urbano e Saúde: uma revisão sistematizada da literatura recente. **SciELO**, São Paulo, v. 30, n. 86, p. 67-82, 2016. Disponível em: [h.ftp://www.scielo.br/pdf/ea/v30n86/0103-4014-ea-30-86-00067.pdf](http://www.scielo.br/pdf/ea/v30n86/0103-4014-ea-30-86-00067.pdf). Acesso em: 12 jul. 2023.

RIBEIRO, L. S. *et al.* Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: o papel da vegetação e seus benefícios. **Revista de Planejamento Urbano e Sustentabilidade**, v. 8, n. 3, p. 45-58, 2021.

ROSA, F. A.; SOUZA, A. P.; VIEIRA, C. S. Efeito da expansão urbana sobre o microclima: estudo de caso em cidades médias brasileiras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 110-127, 2019.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2. ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2010.

SANTOS, M. R. **Monitoramento de parâmetros biofísicos e análise de ilhas de calor urbanas com dados Landsat**. Belo Horizonte: Editora Técnica, 2012.

SAVITZ, A. W.; WEBER, K. **A Empresa Sustentável: o verdadeiro sucesso é o lucro com Responsabilidade Social e Ambiental**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

SEIDL, E. M. F.; ZANNON, C. M. L. da C. Qualidade de vida e saúde: aspectos conceituais e metodológicos. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 20, n. 2, p. 580-588, mar./abr. 2004.

SEPE, V.; GOMES, M. **Indicadores ambientais para o planejamento urbano sustentável**. Rio de Janeiro: Editora ABC, 2008.

SETO, K.C.; SHEPHERD, J.M. Tendências globais de uso do solo urbano e impactos climáticos. **Atual Opin. Ambiente sustentar.**, v. 1, p. 89-95, 2009.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA. **Diretrizes para Arborização Urbana: Normas e Recomendações**. São Paulo: SBAU, 1996.

SOUSA, A. W. P. P. *et al.* Revisão Bibliográfica: Influência das Áreas Verdes para a Saúde Física e Mental o. **Faema**, Ariquemes, v. 3, n. 2, p. 11-23, 2022.

SPOSITO, M. E. B. Sobre o debate em torno das questões ambientais e sociais no urbano. *In*: CARLOS, A. F. A.; LEMOS A. I. G. (orgs.). **Dilemas urbanos: novas abordagens sobre a cidade**. São Paulo: Contexto, 2003, v. 1, p. 358-363.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Classifying urban climate field sites by “local climate zones”: the case of Nagano, Japan. *In*: International Conference on Urban Climate, 7., 2009, Yokohama. **Anais [...]**. Yokohama: International Association for Urban Climate (IAUC), 2009.

TOLEDO, L. G. B. *et al.* Áreas verdes e qualidade de vida: análise do município de Uberlândia (MG). **Revista Geonorte**, v. 1, n. 1, p. 145-153, 2009.

TOLEDO, M. C.; SANTOS, F. A. **Espaços urbanos e qualidade ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora ABC, 2009.

TRINDADE, P.M.P. *et al.* Utilização do infravermelho termal na análise espaço temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbanas. **Revista Brasileira de Cartografia (RBC)**, Rio de Janeiro, v. 69, n. 4, p. 837-855, abr. 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44338>. Acesso em: 11 abr. 2025.

VILARINHO, M. T. L. *et al.* Avaliação das bandas 10 e 11 do TIRS do Landsat 8 na identificação de ilhas urbanas de calor em quatro cidades brasileiras. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**, v. 1. João Pessoa: INPE, 2015.

VILLWOCK, V. S. *et al.* Avaliação da arborização urbana como indicador da qualidade ambiental: estudo de caso do município de Terra Boa – PR. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, e01403, 2018.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v.86, p.370- 384, 2003.

ZHOU, D. *et al.* Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. **Remote Sensing of Environment**, v.11, p. 48, 2019.