

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Karla Carvalho de Almeida

**Variações Microclimáticas no Centro de Juiz de Fora - MG: Uma Análise
dos Padrões de Temperatura do Ar e Sua Relação com o Desenho Urbano**

Juiz de Fora

2024

Karla Carvalho de Almeida

Variações Microclimáticas no Centro de Juiz de Fora - MG: Uma Análise dos Padrões de Temperatura do Ar e Sua Relação com o Desenho Urbano

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Gestão do Ambiente Construído.

Orientador: Fábio de Oliveira Sanches

Juiz de Fora
2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Carvalho de Almeida, Karla.

Variações Microclimáticas no Centro de Juiz de Fora: Uma Análise dos Padrões de Temperatura do Ar e Sua Relação com o Desenho Urbano / Karla Carvalho de Almeida. -- 2024.

90 p. : il.

Orientador: Fábio de Oliveira Sanches

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2024.

1. Ilhas de calor. 2. Mudanças climáticas. 3. Vegetação urbana. 4. Potencial térmico. 5. Microclima urbano. I. de Oliveira Sanches, Fábio, orient. II. Título.

Karla Carvalho de Almeida

**Variações Microclimáticas no Centro de Juiz de Fora: Uma Análise dos Padrões
de Temperatura do Ar e Sua Relação com o Desenho Urbano**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Gestão do Ambiente Construído.

Aprovada em 24 de Maio de 2024

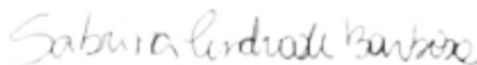
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fabio de Oliveira Sanches
Universidade Federal de Juiz de Fora



Profª Dra. Cássia de Castro Martins Ferreira
Universidade Federal de Juiz de Fora



Profª Dra. Sabrina Andrade Barbosa
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho à minha família e aos meus professores, que me auxiliaram e me deram suporte; e à cidade de Juiz de Fora.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão, Rita, José Carlos e Rafael, que me ensinaram o valor do estudo e do conhecimento. A fé que vocês depositam em mim é uma grande motivação. Dar orgulho a vocês é uma das minhas maiores alegrias.

Ao meu marido Rômulo, que me apoia em todos os meus objetivos e que participou ativamente deste trabalho. Obrigada por ter participado das medições de temperaturas comigo, pelas fotos de drone, pelas críticas construtivas e por toda a parceria.

Aos meus gatos, cachorros, e outros animais que eu já resgatei. Eles alegrem os meus dias e fazem parte do meu propósito. Muito do que eu faço é para construir um mundo mais sustentável para eles.

Agradeço também à Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), onde desde a graduação me sinto tão acolhida e onde tudo parece possível. A UFJF abriu portas que até então eu nunca havia imaginado.

Ao CNPq por viabilizar a minha pesquisa, estudo e o presente trabalho.

Ao meu orientador Fábio Sanches, sempre tão assertivo, me orientou com maestria durante todo o mestrado. Sou muito grata pela oportunidade, pelos ensinamentos e por ter tornado esse processo mais leve.

Ao Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental da UFJF e a toda a equipe, que muito contribuiu para o presente trabalho.

Por fim, agradeço especialmente a Deus e aos meus guias espirituais, que me direcionam, auxiliam e iluminam a minha caminhada diariamente. Sem a sua ajuda, eu não teria essa conquista. Minha constante gratidão por essa etapa e por todas as outras.

Aqui estamos nós, a espécie mais inteligente que já existiu. Então, como podemos destruir o único planeta que temos?

Jane Goodall

RESUMO

O aumento da temperatura relacionado aos centros urbanos tende a ser exacerbado nos próximos anos devido às mudanças climáticas, afetando diretamente a qualidade de vida das pessoas. O objetivo do trabalho é comparar a influência do uso e ocupação do solo nas temperaturas do ar em quatro pontos da área central da cidade de Juiz de Fora. Primeiramente, foi feita uma revisão de literatura que definiu e norteou diferentes conceitos utilizados para embasamento do trabalho. Além disso, foram feitas medições das temperaturas do ar nos quatro pontos no horário das 8h, 13h e 19h, durante dez dias consecutivos nos meses de Dezembro de 2022 e Julho de 2023. Os dados dos três horários foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) e ao teste Tukey para verificar possíveis diferenças estatisticamente significativas. Também foi desenvolvido o mapeamento do Potencial Térmico para os quatro pontos considerando como variáveis a massa vegetal, cânion urbano, massa construída, permeabilidade, albedo e emissividade. Os resultados encontrados indicaram temperaturas mais quentes na Avenida Getúlio Vargas e temperaturas mais amenas no Parque Halfeld. A coleta de temperatura apresentou resultados parcialmente de acordo com o Modelo de Potencial Térmico, que indicou que a Avenida Getúlio Vargas possui menos potencial de aquecimento do que a Avenida Rio Branco, por exemplo. Por fim, são feitas propostas de intervenção voltadas à implementação de vegetação e ao microclima urbano, nos quatro pontos analisados. As propostas se adaptaram às diferentes composições e escalas urbanas, como paredes verdes e arborização urbana, por exemplo – de acordo com as possibilidades e com a paisagem local.

Palavras-chave: Ilhas de calor. Mudanças climáticas. Vegetação urbana. Potencial Térmico. Testes estatísticos.

ABSTRACT

The temperature increase related to urban centers tends to be exacerbated in the coming years due to climate change, directly affecting people's quality of life. I aim to compare the influence of land use and occupation on air temperatures in four points in the central area of the city of Juiz de Fora. Firstly, I did a literature review that defined and guided different concepts used to support the work. In addition, air temperatures were measured at four points at 8am, 1pm and 7pm, for ten consecutive days in the months of December 2022 and July 2023. The data from the three times were subjected to Analysis of Variance (ANOVA) and the Tukey test to check possible statistically significant differences. Thermal Potential mapping was also developed for the four points considering the vegetation mass, urban canyon, built mass, permeability, albedo and emissivity as variables. The results found indicated warmer temperatures on Avenida Getúlio Vargas and milder temperatures in Parque Halfeld. The temperature collection presented results partially in accordance with the Thermal Potential Model, which indicated that Avenida Getúlio Vargas has less heating potential than Avenida Rio Branco, for example. Finally, intervention proposals are made aimed at implementing vegetation and the urban microclimate, in the four points analyzed. The proposals fit into different urban compositions and scales, such as green walls, urban trees and green roofs – according to the possibilities and the local landscape.

Keywords: Heat islands. Climate changes. Urban vegetation. Thermal Potential. Statistic tests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Notícias ao redor do mundo sobre eventos de calor extremo, mudanças climáticas e suas consequências.	14
Figura 2: Ecossistemas Urbanos.....	23
Figura 3: Setorização de calçadas.....	28
Figura 4: Diagrama com largura e profundidade mínimas para canteiros urbanos. .	29
Figura 5: Implementação de vegetação em Calle 110, Medellín, Colômbia.	30
Figura 6: Glenwood Park, Atlanta, Georgia.	30
Figura 7: Vegetação em diferentes composições e escalas urbanas.....	32
Figura 8: Ilustração da relação dos mapas base de Potencial Térmico e do mapa síntese.	41
Figura 9: Localização do recorte de estudo em Juiz de Fora, Minas Gerais.....	45
Figura 10: Parque Halfeld, no centro da cidade de Juiz de Fora.	46
Figura 11: Localização dos pontos de análise no centro da cidade de Juiz de Fora. Pontos: (a) Parque Halfeld; (b) Av. Barão do Rio Branco; (c) Rua Halfeld (calçadão) e (d) Av. Getúlio Vargas.	47
Figura 12: Termohigrômetro utilizado na coleta dos dados.....	54
Figura 13: Mapa de áreas verdes.	56
Figura 14: Mapa de cânions urbanos.....	57
Figura 15: Mapa de emissividade.	58
Figura 16: Mapa de albedo.	59
Figura 17: Mapa de massa construída.....	60
Figura 18: Mapa de permeabilidade.	61
Figura 19: Mapa de potencial térmico de aquecimento.	62
Figura 20: Boxplot das temperaturas do ar (8h, 13h e 19h).	64
Figura 21: Boxplot das temperaturas do ar (8h, 13h e 19h).	66
Figura 22: Localização dos pontos de intervenção no centro da cidade de Juiz de Fora. Pontos: (b) Av. Barão do Rio Branco; (c) Rua Halfeld (calçadão) e (d) Av. Getúlio Vargas.	69
Figura 23: Sugestão ilustrativa de inserção de vegetação na Avenida Getúlio Vargas, Juiz de Fora.....	71
Figura 24: Sugestão ilustrativa de inserção de vegetação na Avenida Rio Branco, Juiz de Fora.....	73

Figura 25: Sugestão ilustrativa de inserção de vegetação na Avenida Rio Branco, Juiz de Fora..... 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categorização das vegetações encontradas no Parque Halfeld.....	47
Tabela 2: Valores considerados para a variável Albedo.	49
Tabela 3: Valores considerados para a variável Áreas Verdes.	50
Tabela 4: Valores considerados para a variável Emissividade.	51
Tabela 5: Valores considerados para a variável Massa Construída.	52
Tabela 6: Valores considerados para a variável Impermeabilização.	53
Tabela 7: Temperatura do ar nos horários de coleta (8h, 13h e 19h).	63
Tabela 8: Temperatura média diária em cada área. Legenda: Parque Halfeld (PH); Avenida Rio Branco (RB); Rua Halfeld (Half.); Av. Getúlio Vargas (Get).	63
Tabela 9: Temperatura do ar nos horários de coleta (8h, 13h e 19h).	65
Tabela 10: Temperatura média diária em cada área.....	65
Tabela 11: Resultados da estatística da ANOVA para os dados do verão.....	66
Tabela 12: Resultados do Teste Tukey para os dados do verão.....	67
Tabela 13: Resultados da estatística da ANOVA.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Categorização das escalas climáticas segundo Ribeiro (1993).	22
Quadro 2: Modos de resfriamento fornecidos por diferentes opções de infraestrutura verde urbana e locais prioritários para otimizar esses benefícios de resfriamento. .	32
Quadro 3: Relação das variáveis utilizadas, suas fontes e bases metodológicas. ..	38
Quadro 4: Relação dos mapas base de Potencial Térmico e do mapa síntese.....	40
Quadro 5: Valores numéricos associados às variáveis.	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
CBD	Convention on Biological Diversity
ECE	Evento de Calor Extremo
FVC	Fator de Visão do Céu
H ₀	Hipótese nula
H ₁	Hipótese alternativa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
GEE	Gases de Efeito Estufa
MA	Millenium Ecosystem Assessment
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PJF	Prefeitura de Juiz de Fora
SCU	Sistema Clima Urbano
TEE	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
UGI	Infraestrutura verde

LISTA DE SÍMBOLOS

\emptyset	Diâmetro
Δ	Delta: diferença
μ	Média
H/W	Altura dividido por largura
$>$	Maior que
\leq	Menor ou igual a

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Contexto	13
1.2.	Objetivos.....	19
1.3.	Estrutura do trabalho.....	19
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1.	Clima Urbano	21
2.2.	Ecologia e Morfologia Urbana	23
2.3.	Serviços Ecossistêmicos	25
2.4.	Árvores	33
2.5.	Espaços verdes abertos	33
2.6.	Fachadas verdes	34
2.7.	Telhados Verdes.....	35
2.8.	Técnicas de Análise	35
2.8.1.	Transectos Móveis.....	35
2.9.	Potencial de Aquecimento Térmico	37
2.9.1.	Análise estatística de dados de temperatura do ar	43
3.	MATERIAIS E MÉTODO	45
3.1.	Localização e caracterização da área de estudo	45
3.2.	Mapeamento e Potencial Térmico	48
3.2.1.	Albedo	49
3.2.2.	Áreas Verdes.....	50
3.2.3.	Cânion	50
3.2.4.	Emissividade	51
3.2.5.	Massa Construída.....	52
3.2.6.	Permeabilidade.....	53

3.2.7.	Temperatura do ar	53
3.3.	Análise Estatística.....	54
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1.	Potencial Térmico	56
4.2.	Temperaturas	63
4.2.1.	Verão.....	63
4.2.2.	Inverno.....	64
4.3.	Análise Estatística.....	66
4.3.1.	Verão.....	66
4.3.2.	Inverno.....	68
5.	POSSÍVEIS INTERVENÇÕES URBANAS	69
5.1.	Aplicação nos pontos analisados em Juiz de Fora	69
5.1.1.	Avenida Getúlio Vargas.....	70
5.1.2.	Avenida Rio Branco	72
5.1.3.	Rua Halfeld	73
6.	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS	77

...

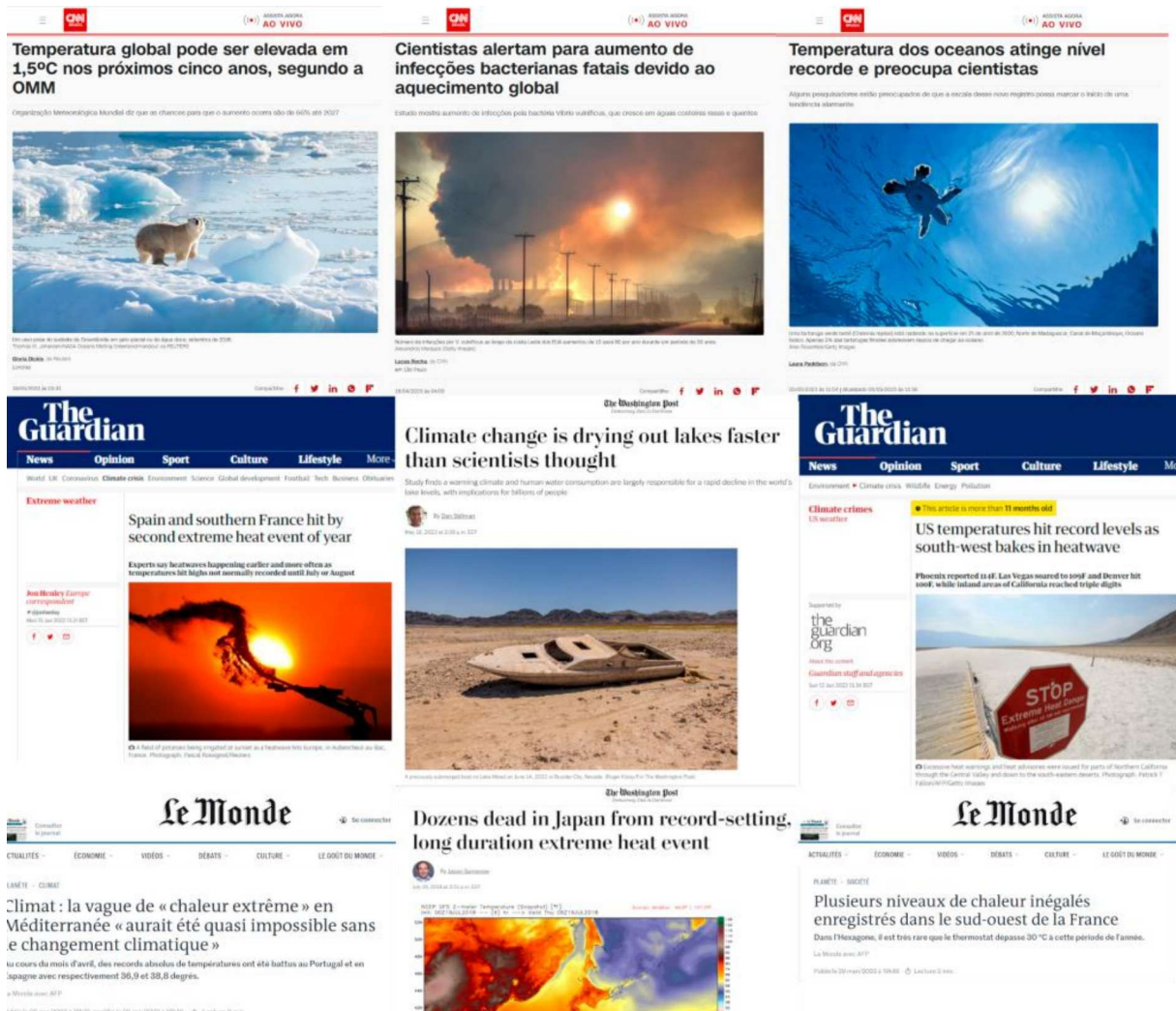
1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto

A temperatura da superfície global foi 1,09°C maior no período entre 2011-2020 quando comparado com o período 1850-1900, com aumentos maiores sobre o continente (1,59°C) do que sobre o oceano (0,88°C). A temperatura da superfície global nas duas primeiras décadas do século XXI (2001-2020) foi 0,99°C superior a 1850-1900. A temperatura da superfície global aumentou mais rapidamente desde 1970 do que em qualquer outro período de 50 anos, pelo menos nos últimos 2000 anos (IPCC, 2023).

Globalmente, eventos de calor extremo (ECE) têm gerado aumento nas taxas de mortalidade e morbidade nas cidades, à medida que as populações urbanas são pressionadas para além da sua capacidade adaptativa (NORTON, 2015). Alguns exemplos incluem: Chicago, nos Estados Unidos, com acréscimo de 31% de mortalidade desde 1995 relacionada ao aumento de calor (WHITMAN et al., 1997); Paris, na França, com mais 130% de mortalidade relacionada ao aumento de temperatura desde 2003 (DHAINAUT et al., 2003); Moscou, Rússia, com aumento de 60% (REVICH, 2011) e Melbourne, Austrália, que teve acréscimo de 62% de mortalidade (Department of Human Services, 2009). A Figura 1 mostra notícias divulgadas em alguns dos principais jornais do mundo sobre eventos de calor extremo, mudanças climáticas e suas consequências.

Figura 1: Notícias ao redor do mundo sobre eventos de calor extremo, mudanças climáticas e suas consequências.



Fonte: CNN (2023); The Guardian (2022; 2023); The Washington Post (2023); Le Monde (2023). Modificado pela autora, 2023.

No Brasil, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), publicado no ano de 2013, reúne estudos nacionais relacionados às alterações climáticas. De acordo com o documento, espera-se que a temperatura do país seja mais quente nas próximas décadas, com aumento de temperatura média entre 1°C e 6°C em todas as regiões até 2100, comparando com os registros do final do século XX (PBMC, 2013). Apesar dos compromissos para redução de emissões, como parte da política nacional de mudanças climáticas, faltam medidas adaptativas para áreas urbanas em muitos aspectos, especialmente relacionadas ao uso e ocupação do solo (DUARTE et al, 2015).

Evidências demonstram que o aumento da mortalidade e da morbidade relacionadas a eventos de calor extremo em populações urbanas são acentuados pelas ilhas de calor (GABRIEL e ENDLICHER, 2011).

As políticas e leis que abordam a mitigação têm se expandido consistentemente desde o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023).

As emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) em 2030 implícitas pelas contribuições determinadas nacionalmente (NDCs) anunciadas até outubro de 2021 tornam provável que o aquecimento exceda 1,5°C durante o século XXI e torna mais difícil limitar o aquecimento abaixo de 2°C. Existem lacunas entre as emissões projetadas nas políticas implementadas e as dos NDCs. Além disso, os fluxos financeiros ficam aquém dos níveis necessários para atingir as metas climáticas em todos os setores e regiões (MARENGO, 2018).

Nas áreas urbanas, as mudanças climáticas observadas causaram impactos adversos na saúde humana, nos meios de subsistência e nas principais infraestruturas. Os eventos de calor extremo se intensificaram nas cidades. A infraestrutura urbana, incluindo sistemas de transporte, água, saneamento e energia, tem sido comprometida por eventos extremos e duradouros, resultando em perdas econômicas, interrupções de serviços e impactos negativos no bem-estar. Os impactos adversos observados concentram-se entre os residentes urbanos economicamente e socialmente marginalizados (ASSAD, 2019).

O processo de urbanização leva à substituição da vegetação natural por uma superfície impermeável que absorve radiação solar durante o dia e libera essa energia lentamente durante a noite, mantendo as áreas urbanas, geralmente centrais, mais quentes do que a paisagem rural circundante e gerando ilhas de calor (OKE, 1982). Além disso, há redução do processo de evapotranspiração proporcionada naturalmente pela vegetação, pois em ambientes urbanos as águas pluviais são rapidamente drenadas, mantendo pouca umidade na superfície e gerando um aquecimento sensível da atmosfera local (COUTTS et al., 2007).

Abordagens de adaptação baseadas em ecossistemas, como o esverdeamento urbano, a restauração de zonas úmidas e de ecossistemas florestais à montante, têm sido eficazes na redução dos riscos de inundação e do calor urbano (IPCC, 2023). Áreas verdes urbanas podem criar um efeito de resfriamento ao baixar

as temperaturas e aumentar os valores de umidade relativa do ar (SPRONKEN-SMITH e OKE, 1998).

Estudos mostram que parques urbanos, que variam em tamanho de 29 a 500 hectares, comumente apresentam entre 1°C e 2°C a menos que a área urbana circundante à noite. O resfriamento do parque estabelece uma zona de maior influência além de suas fronteiras. Esta área de temperaturas mais baixas associada ao parque é referida como “ilha de parque fresco (IPF)” (SPRONKEN-SMITH e OKE, 1998).

Algumas regiões apresentaram resultados ainda mais significativos, como o caso de Tucson, Arizona, uma cidade com clima quente e seco, em que Kirby e Sellers (1987) constataram que a drenagem do ar frio desempenhava um papel dominante na determinação das condições térmicas de outono e inverno da região da cidade, mas notaram baixas temperaturas centradas no maior parque da cidade. No verão, Spronken-Smith (1994) observou que o ar do mesmo parque é até 6,8°C mais frio do que em seus arredores urbanos.

Os sistemas urbanos são essenciais para alcançar reduções para promover o desenvolvimento resiliente ao clima. Os principais elementos de adaptação e mitigação nas cidades incluem a consideração dos impactos e riscos das mudanças climáticas (por exemplo, por meio de serviços ecossistêmicos) no planejamento da infraestrutura e dos assentamentos; no planejamento do uso do solo para compactar a forma urbana; e na localização das funções urbanas (serviços, trabalho, habitação, lazer, transporte, áreas verdes...). A infraestrutura verde e azul suporta a absorção e armazenamento de carbono e, isoladamente ou quando combinada com a infraestrutura cinza, pode reduzir o uso de energia e o risco de eventos extremos, como ondas de calor, inundações, chuvas intensas e secas, gerando cobenefícios para a saúde, bem-estar ser e meios de subsistência (IPCC, 2023).

No Brasil, por sua vez, há o agravante de um processo de urbanização vinculado às fragilidades econômicas e sociais de parte da população. A população de baixa renda, sem alternativa de moradia, ocupou áreas ambientalmente frágeis, tanto nas periferias dos municípios como nas áreas mais centrais. Muitas dessas áreas são legalmente protegidas por uma normativa que pretendia restringir a ocupação e assegurar sua preservação, como as Áreas de Preservação Permanente de rios e córregos. Por sua vez, a ocupação formal do território também alterou as características naturais, suprimiu morros, retificou rios e eliminou sistematicamente a

cobertura arbórea dando lugar a uma ocupação fragmentada, dispersa e demograficamente pouco densa, ditada pelo capital imobiliário especulativo e muitas vezes amparada pela legislação vigente (FERREIRA, 2012).

Mendonça (2003) investigou campos termo-higrométricos na cidade de Londrina, Paraná. Para isso, foram levantados dados em 17 pontos de coleta com termo-higrômetros de leitura direta em miniabrigos de madeira e 2 transectos. Os dados foram coletados em 4 horários (6h, 9h, 15h e 21h) durante o inverno e o verão. Foram identificadas ilhas de calor sobretudo noturnas, com magnitude máxima de 10°C durante noites de verão. Os picos coincidiram com a área mais adensada da cidade.

Amorim et al. (2009) buscou identificar como as características do uso e ocupação do solo e os materiais utilizados nas construções em Presidente Prudente contribuem para a produção do clima urbano e suas implicações no conforto ambiental. Foram utilizadas imagens *Landsat 7* e transectos móveis. Os autores encontraram ilhas de calor com amplitude de 3,6°C e 5,6°C no verão; e 4,9°C e 9,6°C no inverno. As ilhas de calor se deram na região central e em conjuntos habitacionais populares densamente construídos e que se utilizavam de materiais com baixa emissividade e refletância, contribuindo para maior aquecimento dos materiais. Os autores destacam ainda que áreas densamente construídas com maior presença de vegetação se mantiveram mais frescas que áreas similares com baixa presença de vegetação.

Fialho (2009) investigou a formação de um clima urbano em Viçosa utilizando análise de dados históricos da estação meteorológica oficial da cidade e de transectos móveis. Foram realizados transectos em três escalas: Campo-cidade, intraurbana e no núcleo da área urbana.

A análise dos dados históricos mostrou uma tendência do aumento da temperatura do ar entre 1970 e 2006, principalmente entre as temperaturas mínimas e máximas. Entre o campo e a cidade, através da metodologia de transectos, registrou-se gradiente térmico de até 4,7°C em uma noite de inverno. A diferença máxima ocorreu durante o outono, com de 4,8°C no horário da manhã.

Durante a noite foram identificadas ilhas de calor na zona central da cidade e em zona residencial de elevada densidade e verticalização, sendo de maior intensidade uma ou duas horas após o pôr-do-sol. Em todas as estações do ano, a

área central sempre se apresentou mais quente que o entorno, porém a abrangência da área aquecida era menor.

Carvalho et al. (2022), por sua vez, buscou comparar os padrões de temperatura do ar no período noturno em dois recortes da cidade de Juiz de Fora (MG). Foram utilizados termômetros automáticos (Hobo, modelo UA-001-64) na área central da cidade e na área periférica. Os dados foram coletados nos horários de 18h, 21h, 0h e 3h durante os meses de dezembro de 2018 a novembro de 2019. Os resultados mostraram que, em todos os meses analisados, as temperaturas da área central da cidade foram superiores às da área periférica.

Ainda em Juiz de Fora (MG), pesquisas desenvolvidas por Ferreira (2014), Assis e Ferreira (2018), Ferreira et al (2019), Oliveira et al (2019), Pimentel e Ferreira (2019) e Carvalho et al (2022) propõem o uso de diversas ferramentas, técnicas e formas de análise para o clima urbano e a formação de ilhas de calor. Essas técnicas, de modelagem e de estatísticas, permitem identificar áreas urbanas com elevado potencial de aquecimento, bem como de verificar se há diferenças significativas entre os dados de temperatura do ar observados.

Ferreira (2014) e Ferreira et al (2019) propuseram e aplicaram uma metodologia de estudo baseada em mapeamentos básicos e temáticos, em que as múltiplas informações sobre o número de variáveis trabalhadas (vegetação, impermeabilização, massa construída, albedo e emissividade) pelo modelo proposto, resultam num Mapa síntese de Potencial Térmico.

Os resultados mostraram que a geometria do recorte estudado em Juiz de Fora tem implicações na alteração das características climáticas locais, demonstrando que as áreas com baixa presença de cobertura vegetal tendem a ter uma resposta térmica mais elevada, levando a formação de ilhas de calor na cidade.

A partir de outras metodologias e técnicas, Andrade et al. (2013), Alves (2017) e Sanches et al (2018) contribuíram para os estudos sobre o fenômeno das ilhas de calor a partir da aplicação de teste estatísticos de homogeneidade. Os autores trabalharam com mais de três pontos de coleta de dados de temperatura do ar, sendo estes submetidos a técnicas como Análise de Variância (ANOVA) - de Fator Único e de Multifatores - e Regressão Linear Múltipla.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho consiste em analisar o comportamento do campo térmico na área central da cidade de Juiz de Fora (MG) e o papel da vegetação e da conformação urbana.

Os objetivos específicos, por sua vez, buscam:

- Analisar o comportamento da temperatura do ar em dois recortes temporais (verão e inverno), abrangendo coleta de dados em campo e análise estatística;
- Avaliar o papel do ambiente urbano construído como responsável pelas diferenças térmicas por meio da aplicação do Modelo de Potencial Térmico e análises estatísticas;
- Propor intervenções urbanas com base nos dados coletados e com o objetivo de atenuar os efeitos das temperaturas mais elevadas. As intervenções consideraram o local, a escala e a paisagem de cada ponto analisado na cidade de Juiz de Fora.

1.3. Estrutura do trabalho

O capítulo 1 refere-se à introdução, abrangendo o contexto mundial da temática de clima urbano, eventos de calor extremo, ilhas de calor e levantamento de dados de temperatura em diferentes cidades do Brasil e do mundo.

O capítulo 2 oferece uma revisão de literatura acerca de conceitos abordados ao longo do trabalho.

Inicialmente, a revisão aborda o conceito de sistema clima urbano (SCU), com as categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano. Posteriormente, são classificadas as escalas climáticas, desde o microclima (abordado do trabalho) até o mesoclima.

Depois inicia-se um subcapítulo sobre ecologia e morfologia urbana, definindo seus conceitos e sua relação com as mudanças climáticas. É feita uma conceituação acerca dos ecossistemas urbanos relacionados ao uso e cobertura do solo, além de definir conceitos essenciais para o trabalho como Cânions Urbanos e Fator de Visão do Céu.

Posteriormente são abordados os temas de ilhas de calor, conceituando o fenômeno e explicando as suas diferentes causas. São abordados também os tipos de ilhas de calor, e suas consequências para a população local. Após, há um subcapítulo sobre serviços ecossistêmicos, definindo o conceito e a sua função essencial para o bom funcionamento da dinâmica urbana.

As técnicas de análise abordam as metodologias mais comuns para o tipo de trabalho em que este se encontra como: o levantamento de dados através de trabalho em campo com o termohigrômetro, o sensoriamento remoto, os transectos móveis, o mapeamento de Potencial Térmico, e a análise estatística com a técnica ANOVA e teste Tukey.

O capítulo 3, por sua vez, disserta sobre o recorte de estudo do presente trabalho, os pontos escolhidos para análise a razão para essa escolha. Foi feito também um levantamento vegetativo na Praça Parque Halfeld, local central do estudo.

O capítulo 4 disserta sobre a metodologia utilizada, com o mapeamento de Potencial Térmico e seus componentes (albedo, áreas verdes, cânion, emissividade, massa construída, e permeabilidade); o levantamento em campo da temperatura do ar na altura do pedestre nos quatro pontos analisados; e a análise estatística dos dados coletados.

O capítulo 5 expõe os resultados encontrados durante o levantamento e analisa, com as técnicas já descritas de Potencial Térmico e de análise estatística, esses dados.

Por fim, o capítulo 6 sugere possíveis intervenções urbanas baseadas tanto nos dados coletados quanto na revisão de literatura, para amenizar os resultados de ilha de calor encontrados em alguns pontos analisados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Clima Urbano

Monteiro (1976) introduziu os princípios do Sistema Clima Urbano (SCU) baseado na Teoria Geral dos Sistemas criada por Ludwig Von Bertalanffy¹, avançando no estudo da climatologia no Brasil. O autor disserta que, através da interação entre o ser humano e a cidade, são alterados o relevo, a cobertura do solo, a dinâmica populacional e de transporte, o acréscimo de edificações e equipamentos, entre outros.

A partir dessa abordagem, Monteiro (1976; 2003) desenvolveu o Sistema Clima Urbano (SCU), que engloba o clima (fator natural) e a cidade (fator social). A produção do espaço urbano e de suas dinâmicas gerou um clima que difere das áreas rurais circundantes. Como coloca Monteiro (2003, p. 19) “O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

Segundo Oliveira (1985), os principais elementos do clima urbano são a temperatura do ar, a umidade relativa, ventos e massas de ar, precipitações e a duração da exposição solar. Silva (1999) complementa que o clima urbano é diferente do clima de uma região natural, uma vez que é resultado da ação antrópica sobre o espaço.

Já Romero (2001), por sua vez, acrescenta que o clima urbano é influenciado pelos materiais de construção civil, com menor valor de albedo², maior capacidade calorífica³ e condutividade térmica. Os materiais alteram a rugosidade urbana e, assim, geram uma maior fricção entre as superfícies e as massas de ar. Dessa forma, as superfícies urbanas alteram o balanço da radiação no meio urbano e, por consequência, é gerado um aumento na temperatura do ar e uma diminuição da umidade. Portanto, são criadas condições climáticas diferentes de áreas naturais, comumente prejudicando a qualidade climática dos espaços (CONFORTE, 2022).

¹ Biólogo austríaco fundador da Teoria Geral dos Sistemas: estudo interdisciplinar que estabelece teorias e formulações conceituais que possam ter aplicações na realidade empírica (WECHOWICZ, 2000).

² Albedo é o parâmetro que mensura a quantidade de radiação solar que é refletida pela superfície. É calculado pela razão entre a quantidade de radiação refletida e a quantidade recebida (ROMERO, 2001).

³ Capacidade térmica ou calorífica é uma grandeza física que estabelece a relação entre a quantidade de calor fornecida e a variação de temperatura resultante (SANTOS et al., 2004).

As condições térmicas urbanas variam de acordo com a escala em que são avaliadas. Ribeiro (1993) classificou três escalas climáticas de diferentes níveis de condições térmicas, como mostrado no quadro seguinte.

Quadro 1: Categorização das escalas climáticas segundo Ribeiro (1993).

Escala	Condições climáticas	Distância de atuação
Mesoclima ou clima local	Caracterizado por variações em um clima regional. Oliver e Fairbridge (1987) indicam que a configuração da topografia, o tipo de solo e a cobertura vegetal determinam o clima predominante do local.	Distâncias horizontais de centenas de quilômetros quadrados, e distâncias de 1200 a 2000 quilômetros de extensão vertical. Restritos pela Camada Limite Planetária ⁴ .
Topoclima	Derivação do clima local em decorrência da rugosidade do terreno. Assim, criam-se diferentes condições climáticas.	Abrange entre 0,5 e 5 quilômetros de distância horizontal; e entre 50 e 100 metros de altura.
Microclima	Interação de trocas gasosas e de energia entre feições ou estruturas particularizadas (envolvendo objetos, plantas e animais) dispostas na superfície e o ar que as envolve.	Se manifesta em escala próxima ao nível do pedestre.

Fonte: Adaptado de Ribeiro (1993).

Existe uma articulação entre o clima urbano local e o clima em escala regional, o clima local se insere no clima sub-regional e o regional pode ser subdividido em mesoclimas e microclimas. A cidade também se fragmenta em bairros, ruas e casas e se integra com outras cidades formando áreas conturbadas e até mesmo as metrópoles. Assim, nas palavras de Monteiro (2003, p.20) “o espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere.” Dessa forma, o presente estudo se dá na escala do microclima, focando no pedestre e em seu entorno local.

⁴ Camada Limite Atmosférica ou Camada Limite Planetária possui altura aproximada de 1 quilômetro, na baixa troposfera, e sofre influência direta da superfície terrestre (WALLACE e HOBBS, 2006).

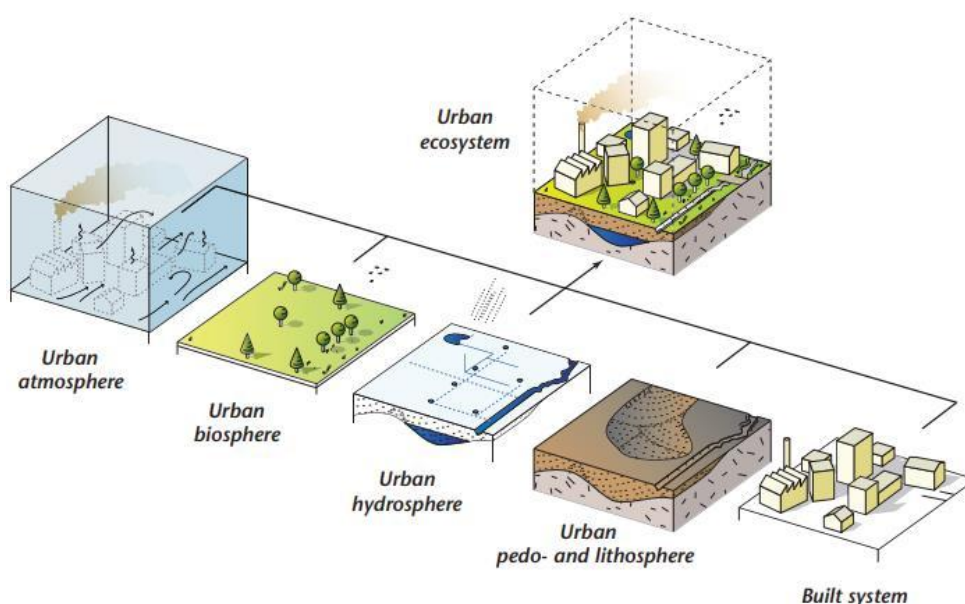
2.2. Ecologia e Morfologia Urbana

A ecologia urbana é a ciência das relações entre os organismos vivos, suas comunidades e seu ambiente abiótico nas cidades (SUKOPP, 1998). É um princípio central da ecologia em que os componentes vivos e abióticos estão intrinsecamente ligados em um ecossistema (OKE et al, 2017).

Os ecossistemas urbanos são formados pela população biológica de organismos (vegetação, animais, pessoas) e pelos ambientes abióticos das cidades (Figura 2).

A presença de pessoas significa que os ambientes são culturais e biofísicos. O ambiente cultural é inteiramente devido às atividades das pessoas e seus vários atributos sociais, políticos, econômicos e outros (OKE et al, 2017).

Figura 2: Ecossistemas Urbanos.



Fonte: OKE et al., 2017.

As causas para os fenômenos de aquecimento urbano possuem relação com a estrutura da área urbana e com o tipo de cobertura e uso do solo (STEWART, OKE, 2012; DUARTE, 2015).

Diversos autores como Emmanuel (2005, 2011), Imhoff et al. (2010), Oke et al. (2017) e Taha (1997) destacam as principais causas que provocam aquecimento, como citadas a seguir:

- *Características e estrutura das regiões urbanas.* A conformação urbana é caracterizada pela sequência de cânions urbanos que limitam a visão do céu (Fator de Visão do Céu - FVC), provocando múltiplas reflexões da radiação solar. Essas reflexões aumentam a absorção de calor pelas superfícies que formam o cânion. Além disso, a movimentação do ar tende a ser restrita nessas condições, retardando o resfriamento.
- *Propriedades das superfícies.* Os baixos albedos proporcionam maior armazenamento de calor. As superfícies urbanas se aquecem durante o dia e liberam o calor durante a noite, contribuindo para o aquecimento do ar.
- *Vegetação insuficiente.* A substituição das áreas naturais e vegetadas por superfícies impermeáveis e edificações faz com que a maior parte de radiação incidente seja convertida em calor sensível (capaz de alterar apenas a temperatura do corpo), ao invés de calor latente (altera o estado físico da substância). A falta de sombreamento e de evapotranspiração também contribuem para o aquecimento da região, como será discutido de forma detalhada adiante.
- *Calor antropogênico e poluentes.* O calor sensível gerado pelos processos industriais e poluentes, pela própria movimentação humana, equipamentos urbanos e meios de transporte colaboram para um maior aquecimento.

A maioria das variáveis descritas acima está relacionada com o desenho urbano, com sua forma de ocupação e escolha dos materiais. Stone, Vargo e Habeeb (2012) apontam que as alterações no uso do solo e a substituição da sua cobertura natural por materiais de construção desempenham papel mais significativo na intensidade das ilhas de calor do que os gases de efeito estufa.

Zhao et al. (2011) realizaram um estudo sobre os efeitos da morfologia urbana no clima de Beijing, China, durante o período do verão local. Foi constatado que apenas três indicadores podem explicar de 99,49% a 99,69% das diferenças microclimáticas locais nas temperaturas de superfície, nos picos de temperatura e no horário de ocorrência dos picos. Esses indicadores são: densidade construída, altura das edificações e cobertura vegetal, sendo o último o mais relevante.

Emmanuel (2011) reforça que manipular esses três fatores pode reduzir significativamente o aquecimento em cidades quentes e úmidas.

Johansson e Emmanuel (2011), por sua vez, realizaram um estudo na cidade de Colombo, Sri Lanka, avaliando o conforto de cinco áreas diferentes da cidade por

meio do cálculo de temperatura fisiológica equivalente (PET - Physiological Equivalent Temperature) a partir de dados microclimáticos medidos no verão. Eles verificaram os menores índices de conforto térmico em ruas largas com edifícios baixos, ou seja, com FVC alto e H/W (Altura/Largura) baixo. Nesse caso, as situações mais confortáveis foram encontradas em ruas estreitas, com edifícios altos e, principalmente, com vegetação arbórea.

É importante ressaltar que em regiões do planeta de latitudes baixas, o sombreamento causado por edifícios é limitado, sendo necessários outros mecanismos para esse fim, como a vegetação arbórea.

Por outro lado, cânions com alto H/W podem interferir negativamente na ventilação, devido ao abafamento que essa conformação pode provocar. À noite, especialmente, essa configuração é desfavorável, pois retém o calor que fica chicoteando entre os edifícios (JOHANSSON e EMMANUEL, 2006).

De forma semelhante, Krüger, Minella e Rasia (2011) desenvolveram um estudo em Curitiba, Brasil, e constataram que altos valores de FVC proporcionaram maior desconforto em dias quentes, porém maior conforto em dias frios. Assim, os autores concluíram que é necessária também a análise de incidência e de acessibilidade solar, além das peculiaridades geográficas do recorte de estudo.

Por meio do planejamento urbano, portanto, é possível modificar o clima encontrado através de intervenções climaticamente responsáveis, contribuindo para o conforto dos habitantes e para a diminuição do aquecimento.

2.3. Serviços Ecossistêmicos

Entre 2001 e 2005, sob iniciativa das Nações Unidas, foi conduzido o *Millenium Ecosystem Assessment* (MA), um amplo estudo sobre as condições dos ecossistemas mundiais e as consequências de mudanças nesses ecossistemas sobre o bem-estar humano, que legou como principal achado a conclusão de que as ações humanas estão exaurindo o capital natural do planeta de tal forma que já não é possível assegurar sua capacidade de suportar as gerações futuras (MA, 2005).

O capital natural de uma sociedade pode ser entendido como o estoque de bens e serviços providos pelos ecossistemas, e é um fator determinante de seus níveis de bem-estar (MA, 2005). Esse capital natural trata-se de uma metáfora econômica para os limites dos recursos físicos e biológicos da natureza (TEEB, 2010).

Apesar do “estoque” natural ter sua importância negligenciada por economistas, governos e corporações, estudos mostram que a riqueza de uma nação se divide entre humana, social e natural. (TEEB, 2005). A incorporação de conceitos financeiros à avaliação da natureza compõe o conceito de Recursos Naturais, e possui significativas pesquisas que demonstram o vínculo entre o capital natural e o bem-estar humano (CONSTANZA, 1997; MA, 2005; FISHER et al., 2009; GÓMEZ-BAGGETHUN e BARTON, 2013).

Essa contabilidade da natureza é importante porque auxilia a reconhecer os benefícios que a natureza provê (TEEB, 2010). Os serviços ecossistêmicos entram nesse contexto como “as funções oferecidas naturalmente pelos ecossistemas, mantidas, aprimoradas ou restauradas por ação do homem, visando a conservação de condições ambientais adequadas para a vida no Planeta” (BRASIL, 2007). Ainda, de um ponto de vista econômico, os serviços ecossistêmicos formam os “dividendos” que a sociedade recebe do capital natural (TEEB, 2010).

Alguns estudos trabalham com diferentes conceitos sobre como “os componentes ecológicos são diretamente consumidos ou usufruídos para o bem estar humano” (BOYD et al., 2007) ou “aspectos dos ecossistemas utilizados (ativa ou passivamente) para produzir o bem estar humano” (FISHER et al., 2009).

Todas as definições, porém, apontam para o fato de os serviços ecossistêmicos constituírem “os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas”, conceito síntese apresentado pelo *Millenium Ecosystem Assessment*, no ano de 2009, e adotado para o presente trabalho.

Dentre os inúmeros serviços ecossistêmicos, é possível citar a diminuição de temperatura e regulação da umidade urbana, o fluxo estável de água limpa, o solo produtivo, polinização de culturas e vegetação, a proteção de encostas e faixas litorâneas, a redução de processos erosivos, a manutenção da qualidade do ar, produção de matéria prima, estabilidade climática, entre outros fatores essenciais para a vida humana (MONTEIRO, 2018).

Dentre todos os diferentes serviços ecossistêmicos, destaca-se para o presente trabalho a regulação da temperatura urbana, que acontece através das funções ambientais de fotossíntese, sombreamento e evapotranspiração.

As árvores e outras formas de vegetação fornecem sombra, criam umidade e bloqueiam vento. Um importante indicador quantitativo para esse serviço é o “Índice

de Área de Folhas”, em que há um decréscimo de temperatura por área de cobertura vegetal em relação à área do lote (MONTEIRO, 2018).

Cerca de 50% da população mundial ocupa apenas 2% da superfície do planeta e na sua grande maioria em cidades. Além disso, o consumo de energia em áreas urbanas representa 67% do total, e as cidades emitem 70% dos gases de efeito estufa (TEEB 2010).

Ainda que dominadas e desenvolvidas pela população humana, as cidades são habitat para muitas espécies, e possuem áreas protegidas que contribuem enormemente para a biodiversidade (MONTEIRO, 2018). Alguns pesquisadores tratam do conceito de “biodiversidade urbana”, que representa a variedade e a riqueza de organismos vivos e a diversidade de habitats encontrados dentro e no entorno das cidades (CBD, 2013). Portanto, é desejável haver riqueza de biodiversidade nas cidades e, conseqüentemente, serviços ecossistêmicos, como expressa Herzog (2013):

(...) áreas residuais ou não ocupadas [nas cidades] dão importante suporte aos processos ecológicos e hidrológicos. Elas (...) têm uma dinâmica natural própria e contribuem para a sustentabilidade da paisagem. (HERZOG, 2013).

Uma das formas de fomentar a produção de serviços ecossistêmicos nas cidades consiste na mudança no planejamento urbano, conectando os espaços verdes já existentes (ANDERSSON et al., 2014; CBD, 2013), e na implementação de infraestrutura verde (GÓMEZ-BAGGETHUN e BARTON, 2013), além de incentivos provenientes do mercado (BANCO MUNDIAL, 2004; TEEB, 2010).

Essas técnicas serão abordadas mais detalhadamente no capítulo 6 do presente trabalho.

2.4. Vegetação Urbana

A expansão do urbano resulta na fragmentação e na perda de habitats naturais. Fragmentação consiste no processo em que um tipo de mancha é progressivamente subdividido em fragmentos alterados menores e mais isolados. A infraestrutura verde busca a manutenção ou restauração da conectividade entre ecossistemas (PELLEGRINO, 2017).

Em uma cidade, seria uma grande limitação depender apenas de áreas de preservação permanente (APPs) para conservação da biodiversidade. Destaca-se, portanto, a importância dos projetos de espaços públicos e privados que funcionem como trampolim ecológico. Além disso, o projeto paisagístico tem a capacidade de recuperação de paisagens degradadas, de restauração da biodiversidade e de manutenção de microclimas urbanos (PELLEGRINO, 2017).

Segundo Guia preparado pela UNEP (2012), o uso da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos é essencial para auxiliar as comunidades a lidarem com os efeitos negativos das mudanças climáticas.

Norton (2015) concorda, defendendo que a implementação estratégica de infraestrutura verde (UGI – *Urban Green Infrastructure*) como arborização, parques, telhados e fachadas verdes ajuda a reduzir as temperaturas, além de outros benefícios como redução da poluição e aumento da biodiversidade.

Em situações ideais, segundo o WRI Brasil (2017), as calçadas de ruas completas devem apresentar, entre outros elementos:

- Faixa de serviço com jardins, iluminação e mobiliário urbano, com largura mínima de 0,75 metros;
- Faixa livre para deslocamento do pedestre, com largura mínima de 1,50 metros;
- Faixa de transição com área prevista para que o pedestre possa apreciar vitrines, parar para conversar e permanecer próximo à edificação, sem largura mínima.

A Figura 3 ilustra a setorização desejável da calçada, segundo WRI Brasil (2017). Em diversos casos de estudo, porém, é necessário adaptar-se às condições reais em que o recorte de estudo se encontra.

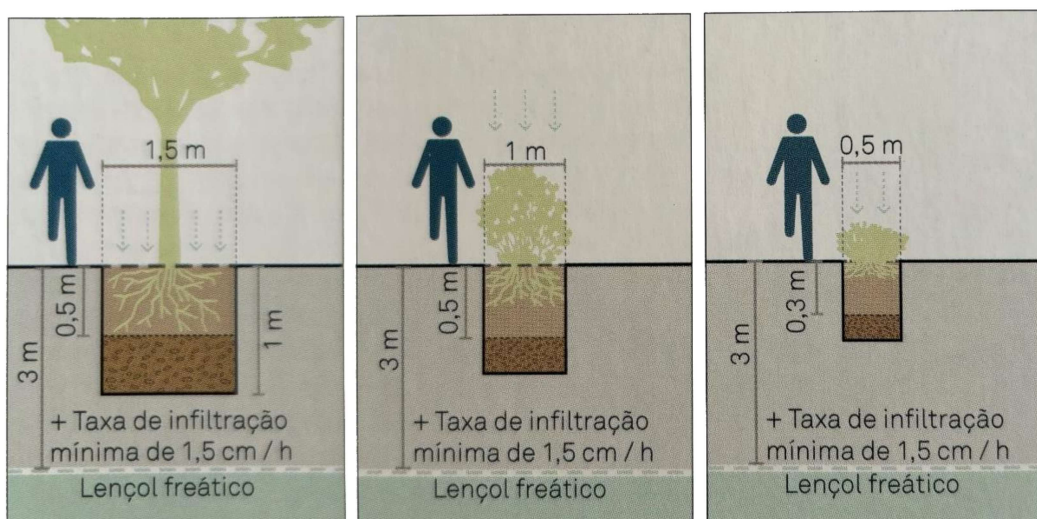
Figura 3: Setorização de calçadas



Fonte: Martino, 2022.

Já segundo Global Designing Cities Initiative (2017), jardins urbanos para árvores devem ter largura mínima de 1,50 metros, enquanto vegetação arbustiva pode ter canteiros com largura de 0,50 metros a 1 metro, como exposto na imagem figura 4.

Figura 4: Diagrama com largura e profundidade mínimas para canteiros urbanos.



Fonte: Global Designing Cities Initiative, 2017.

Um exemplo prático de implantação de vegetação urbana em ambiente já consolidado é o bairro Andalucia, em Medellín, Colômbia. A cidade tem

aproximadamente 2,4 milhões de pessoas e o bairro tem um contexto residencial com assentamento informal. A largura da via em questão é de 19 metros, com um quilômetro de extensão. O custo da obra para inserção da vegetação foi de 3,2 bilhões de pesos colombianos, de financiamento público (Global Designing Cities Initiative, 2017). A figura 5 mostra o resultado da intervenção.

Figura 5: Implementação de vegetação em Calle 110, Medellín, Colômbia.



Fonte: Global Designing Cities Initiative, 2017.

Outro exemplo prático foi a implementação de vegetação em Glenwood Park, em Atlanta, na Georgia, Estados Unidos. Atlanta é reconhecida por sua urbanização dispersa, e o projeto do Parque permite a maior permeabilidade ao pedestre em uma metrópole viciada em automóveis. Projeto liderado por Charles Brewer, o parque foi construído em uma gleba contaminada e abandonada a pouco mais de três quilômetros do centro de Atlanta. Foram plantadas mil árvores ao longo das ruas, especialmente com o objetivo de reduzir a ilha de calor presente até então (FARR, 2013), como mostra a figura seguinte com a representação da planta baixa do projeto.

Figura 6: Glenwood Park, Atlanta, Georgia.

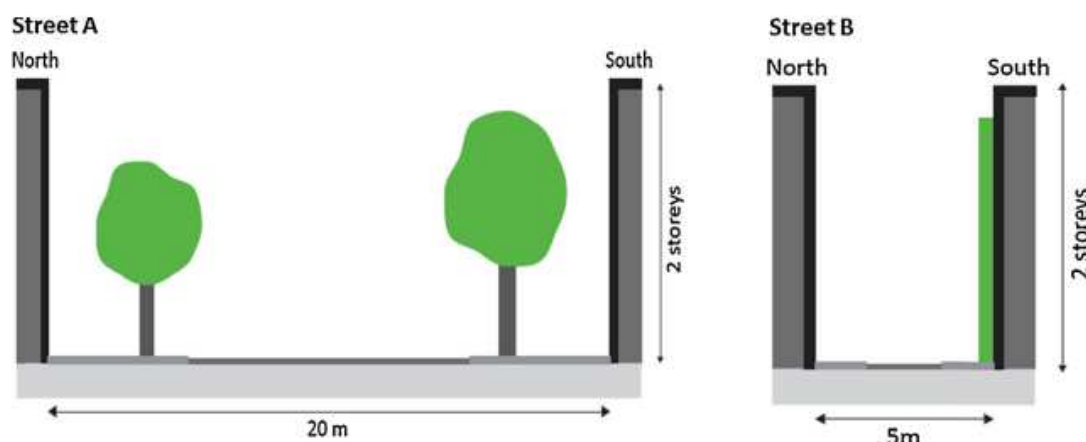


Disponível em: <https://glenwoodpark.com/philosophy>. Acesso em Ago. 2023.

Para execução da infraestrutura verde, é importante reconhecer em três dimensões a infraestrutura cinza existente, para então identificar como otimizar a infraestrutura verde no local. O objetivo é sinalizar a existência (ou não) de vegetação saudável, a largura da rua e a altura das construções. Isso determina, por exemplo, quanto de incidência solar e sombreamento esse local recebe, qual a disponibilidade espacial para introdução da vegetação, para que seja possível planejar que tipo de infraestrutura verde a área pode receber (NORTON, 2015).

Norton (2015) sugere uma metodologia de aplicação de diferentes formas de vegetação para determinados locais carentes de áreas verdes. Segundo ela, é necessário selecionar o tipo de infraestrutura verde de acordo com as características do local e do potencial de resfriamento da vegetação. A estrutura permite a priorização da colocação e do tipo de UGI na escala local. A maioria dos estudos existentes mediu os efeitos do resfriamento da UGI em microescala ou modelou-os na escala da cidade. Mais pesquisas são necessárias para compreender as interações entre as geometrias dos cânions das ruas, a localização dos UGI e a seleção de espécies de plantas para estabelecer conexões firmes entre o arranjo espacial dos UGI e o resfriamento em escala urbana (NORTON, 2015). A imagem seguinte ilustra como a vegetação pode se adaptar a diferentes escalas urbanas.

Figura 7: Vegetação em diferentes composições e escalas urbanas.



Fonte: Norton, 2015.

O objetivo principal da nova implementação da UGI deve ser maximizar a cobertura vegetal, reduzir as temperaturas da superfície, bem como fornecer sombreamento do espaço para pedestres e resfriamento transpirativo. O objetivo secundário deverá ser a implementação de cobertura vegetal “superficial” no solo ou nas paredes, também para reduzir as temperaturas superficiais e proporcionar arrefecimento transpirativo, porém sem (ou com pouco) sombreamento. A cobertura vegetal superficial inclui sistemas verdes verticais, telhados verdes e superfícies gramadas (NORTON, 2015). O quadro 02 apresenta um guia sobre como diferentes elementos vegetativos podem ajudar no resfriamento da temperatura do ar.

Quadro 2: Modos de resfriamento fornecidos por diferentes opções de infraestrutura verde urbana e locais prioritários para otimizar esses benefícios de resfriamento.

Vegetação	Espaços verdes abertos	Árvores	Telhados verdes	Jardins verticais
Sombreia superfícies?	Sim, se grama em vez de concreto	Sim	Sombreia os telhados, não as superfícies das ruas	Sim
Sobreia pessoas?	Sim, se tiver árvores	Sim	Não	Não
Aumenta reflexão solar?	Sim, com grama	Sim	Sim, se as plantas estiverem saudáveis	Sim
Resfriamento por evapo - transpiração?	Sim, com água quando calor	Sim	Sim, com água quando calor	Sim, com água quando calor

Fonte: Adaptado de Norton, 2015.

2.4. Árvores

Na maioria dos casos, as copas das árvores são a solução ideal para sombrear superfícies urbanas e o seu entorno, além de proporcionarem resfriamento por evapotranspiração (ROSENZWEIG et al., 2006; SPRONKEN-SMITH & OKE, 1999) (Quadro 2). A quantidade de sombra que as árvores proporcionam depende do seu formato e da densidade da copa (PATAKI, CARREIRO, et al., 2011; SHASHUA-BAR, POTCHTER, BITAN, BOLTANSKY, & YAAKOV, 2010). As árvores de copa espessa ou densa proporcionam sombra maior, o que significa que as árvores de folha larga são geralmente mais eficazes do que as árvores de folhas agudas (LEUZINGER et al., 2010; LIN & LIN, 2010). No entanto, as árvores que proporcionam maior sombra durante dias quentes também podem reter o calor sob a sua copa durante a noite (SPRONKEN-SMITH & OKE, 1999).

Para minimizar o aprisionamento de calor, as árvores das ruas não devem formar uma copa contínua, permitindo assim a saída da ventilação e da radiação de ondas longas (DIMOUDI & NIKOLOPOULOU, 2003; SPRONKEN-SMITH & OKE, 1999). Uma mistura de espécies de árvores, com diferentes formatos de copa, poderia ser considerada pela mesma razão (PAULEIT, 2003).

2.5. Espaços verdes abertos

Os espaços verdes urbanos abertos são comumente áreas gramadas com copas de árvores relativamente esparsas (ou ausentes), como parques ornamentais, campos esportivos e campos de golfe.

Dependendo da sua concepção e dos regimes de irrigação, os espaços verdes urbanos abertos podem potencialmente fornecer ilhas de frescor em áreas urbanas quentes, por isso é importante que sejam facilmente acessíveis às pessoas (GILES-CORTI et al., 2005). Dependendo, também, do seu tamanho e da direção do vento, eles também podem resfriar áreas urbanas na direção do vento (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003; SPRONKEN-SMITH e OKE, 1998).

Os espaços verdes urbanos abertos arrefecem de forma mais eficaz se possuírem árvores dispersas e receberem irrigação (SPRONKEN-SMITH e OKE, 1998, 1999). Portanto, a sua disposição espacial e estrutura da vegetação são

importantes na determinação do seu potencial de resfriamento (LEHMANN, MATHEY, RÖßLER, BRÄUER e GOLDBERG, 2014).

Aumentar significativamente a área total de espaços verdes abertos dentro de uma cidade pode reduzir significativamente as temperaturas na escala da cidade (BOWLER et al., 2010), mas é pouco provável que isto seja uma opção na maioria dos centros urbanos. Fornecer muitos espaços verdes abertos pequenos e distribuídos poderia beneficiar um maior número de bairros (COUTTS et al., 2013; SHASHUA BAR e HOFFMAN, 2000).

Como os benefícios do resfriamento estão concentrados na direção do vento em qualquer espaço verde urbano aberto, eles estariam melhor posicionados na direção do vento em áreas particularmente quentes ou de populações vulneráveis (NORTON, 2015).

2.6. Fachadas verdes

Fachadas verdes se dão por trepadeiras que crescem diretamente em uma parede ou em uma treliça ou estrutura semelhante afastada da parede (HUNTER et al., 2014). É um conceito diferente de parede verde, que são várias plantas de espécies diferentes, em diversos vasos anexados em toda a parede - esse caso exige maior manutenção.

As fachadas verdes podem ser plantadas no solo ou em vasos a qualquer altura das paredes de um edifício. Além de evitar o ganho de calor nas paredes dos edifícios, as fachadas verdes podem fornecer resfriamento através da evapotranspiração (KÖHLER, 2008). Ao contrário das paredes verdes, as fachadas verdes são uma opção realista para a implementação generalizada de infraestrutura verde devido aos custos mais baixos de instalação e manutenção (OTTELÉ et al., 2011).

As fachadas verdes são particularmente benéficas em paredes com elevada exposição solar e onde o espaço ao nível do solo é limitado (WONG e CHEN, 2010), ou onde obstruções aéreas limitam o crescimento das árvores.

Paredes de cores escuras devem ser priorizadas para revestimento de fachadas verdes em detrimento de paredes de cores claras, que não esquentam tanto (KONTOLEON e EUMORFOPOULOU, 2010). Para beneficiar os pedestres, fachadas verdes devem ser instaladas adjacentes às passarelas.

2.7. Telhados Verdes

Durante o dia, os telhados são algumas das superfícies mais quentes nas áreas urbanas (CHUDNOVSKY et al., 2004). Tornar esses telhados mais ecológicos pode mitigar significativamente as temperaturas da superfície urbana, bem como reduzir a necessidade de refrigeração do espaço aéreo dentro desses edifícios.

Os telhados verdes podem ser extensos, com substratos finos (2-20 cm) e uma variedade limitada de plantas, ou, onde a estrutura do edifício for suficientemente forte, intensivos, com uma camada de substrato mais espessa que pode suportar uma gama mais ampla de plantas (OBERNDORFER et al., 2007; WILKINSON e REED, 2009).

A modelização sugere que os telhados verdes podem resfriar à escala de um bairro se cobrirem uma grande área (GILL et al., 2007; ROSENZWEIG et al., 2006). Para serem eficazes, os telhados verdes precisam de ser irrigados e manter um elevado índice de área foliar antes de se tornarem comparáveis ao resfriamento proporcionado por telhados pintados com tinta de alto albedo (SANTAMOURIS, 2014), mas a sua influência no resfriamento ao nível da rua será baixa (NG, CHEN, WANG e YUAN, 2012).

Os telhados verdes reduzem melhor as temperaturas da superfície quando estão cobertos por vegetação mais alta (LUNDHOLM, MACIVOR, MACDOUGALL, e RANALLI, 2010; WONG e CHEN, 2010) e irrigados (LIU e BASS, 2005).

Alcançar um equilíbrio entre maximizar o desempenho de resfriamento durante condições quentes e, ao mesmo tempo, manter as plantas vivas em solos rasos com irrigação mínima é um desafio de pesquisa contínuo (WILLIAMS et al., 2010).

Os telhados verdes têm múltiplos benefícios, mas para o resfriamento de superfícies urbanas que traz benefícios para a saúde humana, é recomendada a adição de telhados verdes em edifícios grandes e baixos, ou em áreas com poucos espaços verdes abertos ao nível do solo.

2.8. Técnicas de Análise

2.8.1. Transectos Móveis

Os transectos móveis, de acordo com Gomez (1993), foram utilizados pela primeira vez em 1920 durante um estudo de clima na cidade de Viena, Áustria, por Wilhelm Schmidt (1868-1954), um professor alemão que estudava etimologia, antropologia, etnografia, filosofia e teologia.

Em Ohio, nos Estados Unidos, Rajkovich e Larsen (2016) utilizaram bicicleta para coletar dados de microclima em Cuyahoga County. Eles concluíram que a radiação solar, o albedo, e o fator de visão do céu (SVF) compuseram uma explicação plausível para a variação entre as temperaturas que encontraram durante as coletas.

Rajkovich e Larsen (2016) também destacaram que as bicicletas são uma alternativa viável e de baixo custo às estações meteorológicas estacionárias, *microdata loggers* e medições de microclimas baseadas em automóveis. Devido ao seu custo relativamente baixo, os autores sugeriram aos planejadores urbanos o possível desenvolvimento de sistemas semelhantes para estimar a exposição nas suas próprias cidades.

Rodriguez et al. (2020) também coletaram dados de temperatura no centro histórico de Sevilha, Espanha, com o método dos transectos móveis utilizando bicicleta e um smartphone para registro das coordenadas GPS. Os dados foram coletados em Julho de 2019 durante 15 minutos por 5 dias. Os raios de área construída nas células da grelha variaram entre 22,3% e 79,1%, e os raios de vegetação variaram entre 0% e 12%. Os autores encontraram uma variação de até 3 graus Celsius de diferença entre os locais durante a coleta noturna.

Em São Francisco, Califórnia, Estados Unidos, May e Oliphant (2023) conduziram um estudo com bicicleta para analisar as temperaturas do Golden Gate Park e de sua vizinhança. Os autores concluíram que o parque possuía temperaturas de até 3.7 °C mais baixas que a vizinhança mais urbanizada durante o verão.

No Brasil, diversos trabalhos utilizam a mesma metodologia, como os exemplos de Brandão (1996), no Rio de Janeiro/RJ; Pitton (1997), em Rio Claro, Araras, Cordeirópolis, Santa Gertrudes/SP; Amorim (2000) e Menotti-Viana et al. (2004), em Presidente Prudente/SP. Na literatura internacional, esta metodologia foi muito utilizada, por exemplo, nas pesquisas realizadas por Oke (1982), Gómez (1993), Ana Monteiro (1997) entre outros.

Os transectos móveis são utilizados para verificação de temperaturas do ar intra-urbanas (AMORIM et al., 2009). Para isso realizam-se percursos urbanos a pé, de bicicleta ou veículos motorizados coletando dados climáticos (VALIN e SANTOS,

2020). Geralmente, trata-se de um percurso previamente planejado, registrando as medições em pontos com distâncias pré-determinadas (PAULA, 2017).

Amorim et al., (2016) afirma que para as observações do clima urbano na escala local, medidas móveis utilizando carros, bicicletas e outros meios para transportar os sensores são uma opção favorável, especialmente na investigação das ilhas de calor. Sobre esse método, tem-se:

Os sensores são montados em um veículo ou carregados por uma pessoa ao longo de um trajeto específico do recinto urbano. Juntamente com as medidas móveis devem ser combinados registros contínuos de medidas fixas, com a finalidade de correlacionar os resultados e obter índices de correções confiáveis (PEZZUTO, 2007).

Como padrão adotado, os transectos devem ser realizados em dias com condições estáveis de tempo atmosférico de céu claro e ventos fracos (OKE, 1982); o pesquisador deve percorrer trajetos pré-definidos, sempre no mesmo horário, para assim obter um banco de dados confiável (SANTOS, 2017); em trajetos longos, a diferença de tempo entre a primeira e a última medida pode ser significativa, desde que sejam ajustados (PEZZUTO, 2007).

No presente trabalho, não foi adotada a técnica exata dos transectos móveis, mas uma adaptação dela. Com pontos fixos de análise, horários e dias pré-definidos, foram levantadas as temperaturas presencialmente e conforme o planejamento de tempo e espaço.

2.9. Potencial de Aquecimento Térmico

Ferreira et al. (2019) desenvolveram uma metodologia analítica aplicada ao clima urbano denominada Potencial de Aquecimento Térmico, inspirada no Urban Climate Map (UC-Map). A metodologia utiliza uma série de camadas de informação espacial, medições climáticas e conhecimento do clima urbano para avaliar e mapear o potencial térmico e dinâmico de determinada área urbana. As informações foram agrupadas em quatro eixos principais, a saber densidade construtiva, albedo, cobertura vegetal e altimetria

Ferreira et al (2019) destacaram que o resultado da aplicação desta metodologia converge com os dados experimentais que eles coletaram e evidencia os efeitos do uso do solo, dos materiais construtivos e do fluxo de pessoas e mercadorias na definição de diferentes campos térmicos. Evidencia que a distribuição e o tamanho da cobertura vegetal, além da amplitude da ventilação, interferem e proporcionam ambientes mais frescos e, portanto, reduzem o armazenamento de calor.

Para esse estudo (FERREIRA, 2019), foi criada uma base de dados geocodificada, para a região central da cidade de Juiz de Fora - MG, na escala de 1:2000, baseada na fotografia aérea de Juiz de Fora do ano de 2007, utilizando o sistema de informação geográfica Arc View 3.2 e Arc Gis 10 (FERREIRA, 2014).

Com base nesses dados, foram criados mapas básicos, gerados a partir de dados cedidos pela Prefeitura de Juiz de Fora. Os dados foram coletados em campo e outros que foram vetorizados diretamente da fotografia aérea da cidade, como pode ser visto no Quadro 3 (FERREIRA, 2014).

Quadro 3: Relação das variáveis utilizadas, suas fontes e bases metodológicas.

Tipo	Fonte/Metodologia
1. Edificações	
a. Formas	
Altura das Edificações	Base de dados PJF; RIBEIRO et al. (2010)
Distância entre as edificações	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
Sombreamento	RIBEIRO et al. (2010); Fotografia Aérea (2007)
Cânions urbanos	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
Geometria urbana	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual; MENDONÇA e ASSIS (2003)
Fator visão do céu	SOUZA (2003); Fotografia aérea (2007)
Massa Construída	TSO et al. (1990); Fotografia aérea (2007)
b. Materiais de construção	
Revestimento	Base de dados PJF; Fotografia aérea (2007)
Tipo de cobertura	Base de dados PJF; Fotografia aérea (2007)
Cor	Base de dados PJF; Fotografia aérea (2007)
Albedo	Base de dados PJF; Fotografia aérea (2007); FERREIRA E ASSIS (2014)

Emissividade	Base de dados PJJ; Fotografia aérea (2007); FERREIRA E ASSIS (2014)
2. Pavimento	
a. Ruas, avenidas e estradas	
Largura	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
Tipo	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
Superfície impermeável	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
b. Áreas verdes	
Área	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
Tipo de vegetação	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
Sombreamento	RIBEIRO et al. (2010); Fotografia Aérea (2007)
c. Espaços livres	
Tipo	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
Área	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
d. Água	
Tipo	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
Área	Fotografia Aérea (2007); Vetorização manual
3. Poluição do Ar	
Fluxos de veículos automotores (caminhões, carros e ônibus)	GETRAN; Levantamento de campo
4. Sítio Urbano	
Taxa de impermeabilização	Fotografia Aérea (2007);
Topografia	Modelo Digital do Terreno; Fotografia Aérea (2007); levantamento topográfico PJJ
Declividade	Modelo Digital do Terreno; Fotografia Aérea (2007); levantamento topográfico PJJ.

Fonte: Ferreira, 2014.

Ferreira (2014) explica que o desenvolvimento deste modelo consistiu em integrar uma análise teórica, quantitativa e qualitativa, afim de obter uma identificação de áreas potencialmente quentes ou frias, em função da disposição, morfologia, geometria, estrutura e formas urbanas.

Primeiramente, a metodologia proposta partiu da identificação das características e variáveis que iriam interferir na hipótese de “potencial térmico”. Esta identificação englobou investigações sobre ilhas de calor e de frescor, campos térmicos, conforto térmico, inversão térmica, entre outros, e quais variáveis eram

consideradas pelos autores como sendo importantes na definição e interferência das temperaturas no ambiente urbano.

A partir deste procedimento, foram levantadas as variáveis (Quadro 3) que constituíram de base de informação, para o modelo que tem como objetivo definir áreas com campos térmicos diferentes, em função das distintas formas de uso e apropriação do espaço urbano.

Neste processo foram criados uma série de mapas básicos, que foram utilizados na construção de mapas temáticos. Estes, após serem reclassificados, foram sobrepostos e formaram um mapa síntese da área em estudo (Quadro 4).

Quadro 4: Relação dos mapas base de Potencial Térmico e do mapa síntese.

Mapas Básicos	Mapas Temáticos	Mapa Síntese
Altura das edificações	1. Massa Construída 2. Fator de Visão do Céu 3. Sombreamento	Potencial Térmico
Densidade da construção		
Distância das Edificações		
Distância entre as edificações		
Quadras		
Lotes		
Direção predominante das construções		
Cânions urbanos	4. Albedo 5. Emissividade	
Revestimento das edificações e pavimentos		
Cor das edificações e pavimentos		
Tipo de cobertura das edificações	6. Ventilação 7. Calor antrópico/poluição	
Largura das vias		
Tipo de vias		
Fluxo de veículos	8. Áreas verdes e água 9. Taxa de impermeabilização	
Área das áreas verdes, água		
Área de influência		
Tipo de áreas verdes, água		
Densidade habitacional/edificação		

Fonte: Ferreira, 2014.

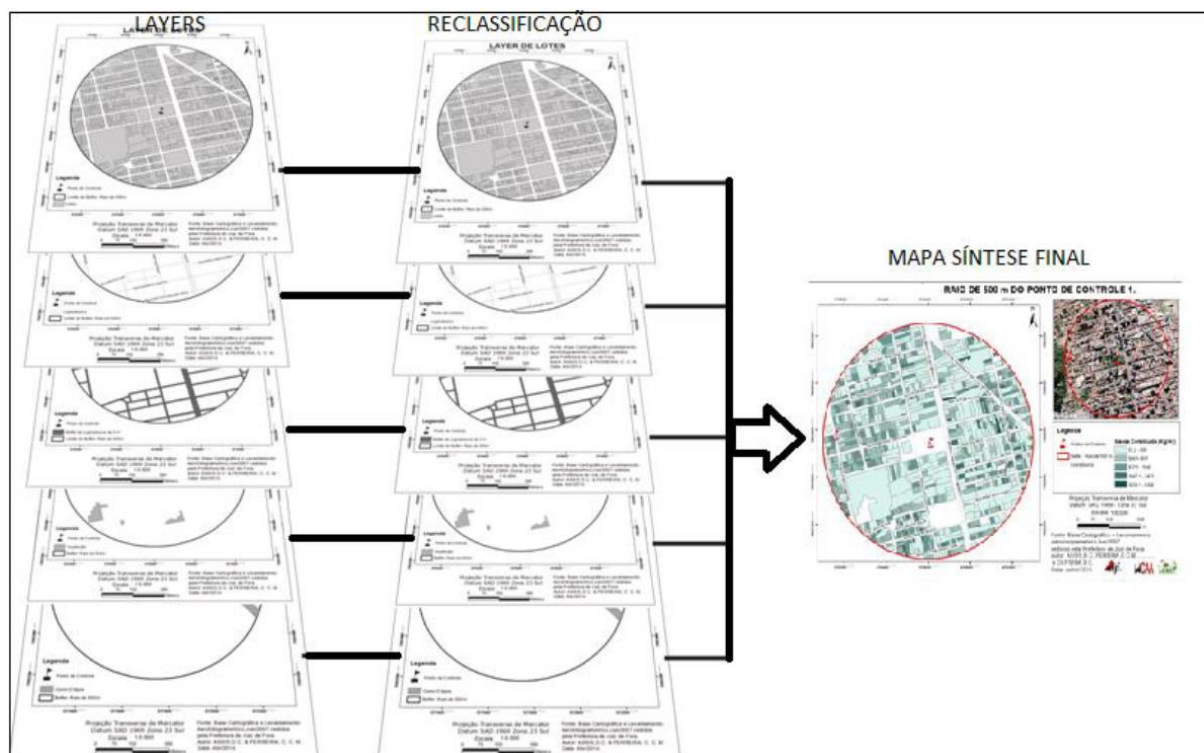
A espacialização de cada variável foi feita separadamente e associadas a cada lote, a fim de maximizar o detalhamento e o grau de interferência, subdividindo a área,

em função da característica analisada (albedo, massa construída, sombreamento, etc.).

Todos os mapas foram classificados em 5 classes e, posteriormente, foram atribuídos valores numéricos (pesos) de acordo com o grau de influência no comportamento da temperatura.

A superposição de todas as características levantadas ocorreu a partir da formulação de uma matriz de potencial térmico, onde são somados os valores pré-estabelecidos de todas as variáveis. Este procedimento foi realizado no ArcGis 10 (Figura 8).

Figura 8: Ilustração da relação dos mapas base de Potencial Térmico e do mapa síntese.



Fonte: Ferreira, 2014.

A matriz possui um caráter qualitativo, pois os valores atribuídos a cada classe dependerão da forma de análise e interpretação quanto ao grau/peso de influência da variável no comportamento da temperatura. Nela são cruzadas as características de cada uma das variáveis trabalhadas em função do novo valor numérico que foi atribuído, que representa o grau/peso de influência de cada uma delas no comportamento da temperatura (Quadro 5).

A espacialização destas informações consistiu na reclassificação dos mapas, em função destas novas categorias (Quadro 5).

Quadro 5: Valores numéricos associados às variáveis.

Variáveis e pesos					
Massa construída (Kg/m²)		Albedo		Emissividade	
Variável	Peso	Variável	Peso	Variável	Peso
37,6 – 506	1	Telha metálica	1	Telha metálica	5
506,1 – 917	2	Telha cerâmica	1	Telha cerâmica	2
917,1 – 1647	3	Fibrocimento	3	Fibrocimento	2
1647,1 – 3433	4	Laje	2	Laje	2
3433,1 - 8328	5	Asfalto	5	Asfalto	2
		Vegetação	2	Vegetação	1
		Água	2	Água	2
Fator de Visão do Céu		Áreas verdes		Sombreamento	
Variável	Peso	Variável	Peso	Variável	Peso
0 - 20	5	Arbórea	-3	0 - 20	1
21 - 40	4	Arbustiva	-2	21 - 40	2
41 - 60	3	Área construída	0	41 - 60	3
61 - 80	2			61 - 80	4
81 - 100	1			81 - 100	5
Água		Ventilação		Poluição (carros/minuto)	
Variável	Peso	Variável	Peso	Variável	Peso
Curso d'água	1	Via arterial secundária	1	0 - 7	1
Buffer de 50m	3	Via coletora principal	2	8 - 15	2
Área construída	5	Via local principal	3	16 - 23	3
		Via local secundária	4	24 - 32	4
		Via de pedestres	5	< 33	5
Taxa de impermeabilização		Topografia			
Variável	Peso	Variável	Peso		
Permeável	1	672 - 680	5		
Impermeável	5	681 - 700	5		
		701 - 730	4		
		731 - 760	3		
		761 - 790	2		
		791 - 810	1		
		811 - 840	1		

Fonte: Ferreira, 2014.

Todos os mapas foram classificados em 5 classes e, em função do potencial de aquecimento da variável em questão, eles foram reclassificados recebendo notas de 1 a 5, sendo o valor numérico 1, dado para a classe que possui menor potencial térmico (como exemplo, uma densa área verde, levaria o valor 1) e para as que possuem um alto potencial de aquecimento (como por exemplo, um asfalto novo, com baixo albedo) levaria o valor 5.

Este procedimento é realizado para cada classe e variável e, na sequência, são dados pesos em função da importância e representatividade no aquecimento/resfriamento urbano. Dessa forma, os dados são organizados de forma hierárquica com grau de importância entre as classes de uma variável.

Ao final é gerado um mapa síntese, que representa o grau que o ambiente físico/construído tem de influenciar na temperatura, denominado no mapa de pesos, no qual, com a soma de todos os mapas, quanto maior o peso, maior será as condições do ambiente em produzir temperaturas mais elevadas e quanto menor, as temperaturas tenderiam a ser mais baixas.

2.9.1. Análise estatística de dados de temperatura do ar

Para comparar os dados de temperatura encontrados em campo a fim de encontrar significância ou não, e distinguir quais pontos de diferem em relação aos outros, foi utilizado o modelo estatístico ANOVA com análise de um fator. Segundo Fernandes, esse teste pode revelar se existem diferenças significativas em média entre conjuntos de dados que receberam diferentes tratamentos (FERNANDES, 1999). O modelo será explicado mais detalhadamente dentre as suas equações na sessão 4.2 Análise Estatística.

O objetivo é identificar se as temperaturas do ar coletadas são estatisticamente diferentes entre si, dados os diferentes elementos urbanos presentes em cada ponto; ou se não há distinção significativa, possibilidade de acordo com a circulação atmosférica geral e elementos regionais da paisagem.

Após o resultado da ANOVA, realizou-se o teste Tukey, como forma complementar. O teste Tukey é útil para, caso a ANOVA indique diferença relevante, identificar quais pontos se diferem especificamente (SANCHES, 2018).

Os testes estatístico ANOVA foram realizados na análise de dados *Excel* 2013. No *software Past 3*, foram desenvolvidos o teste *Tukey* e os gráficos *boxplot*.

A temperatura do ar urbano é registrada de forma pontual. Por outro lado, o modelo de potencial térmico abrange um raio de 100 metros. Para correlacionar essas duas grandezas, foi necessária uma métrica que transforma o modelo em apenas um valor (VIANNA, 2018).

Ainda de acordo com Vianna (2018), o resultado do modelo é um arquivo *raster* formado por pixels 1m x 1m. O valor de cada pixel representa o potencial de aquecimento naquele metro quadrado. Como métrica síntese do modelo, foi multiplicado o valor de cada pixel pelo número de ocorrência do raio de 100 metros daquele ponto. Em seguida, somaram-se os valores conforme a seguinte equação:

$$PAT = \sum x \cdot w$$

Equação 1

Onde:

PAT é o Potencial de Aquecimento Térmico

x é o número de pixels com peso w

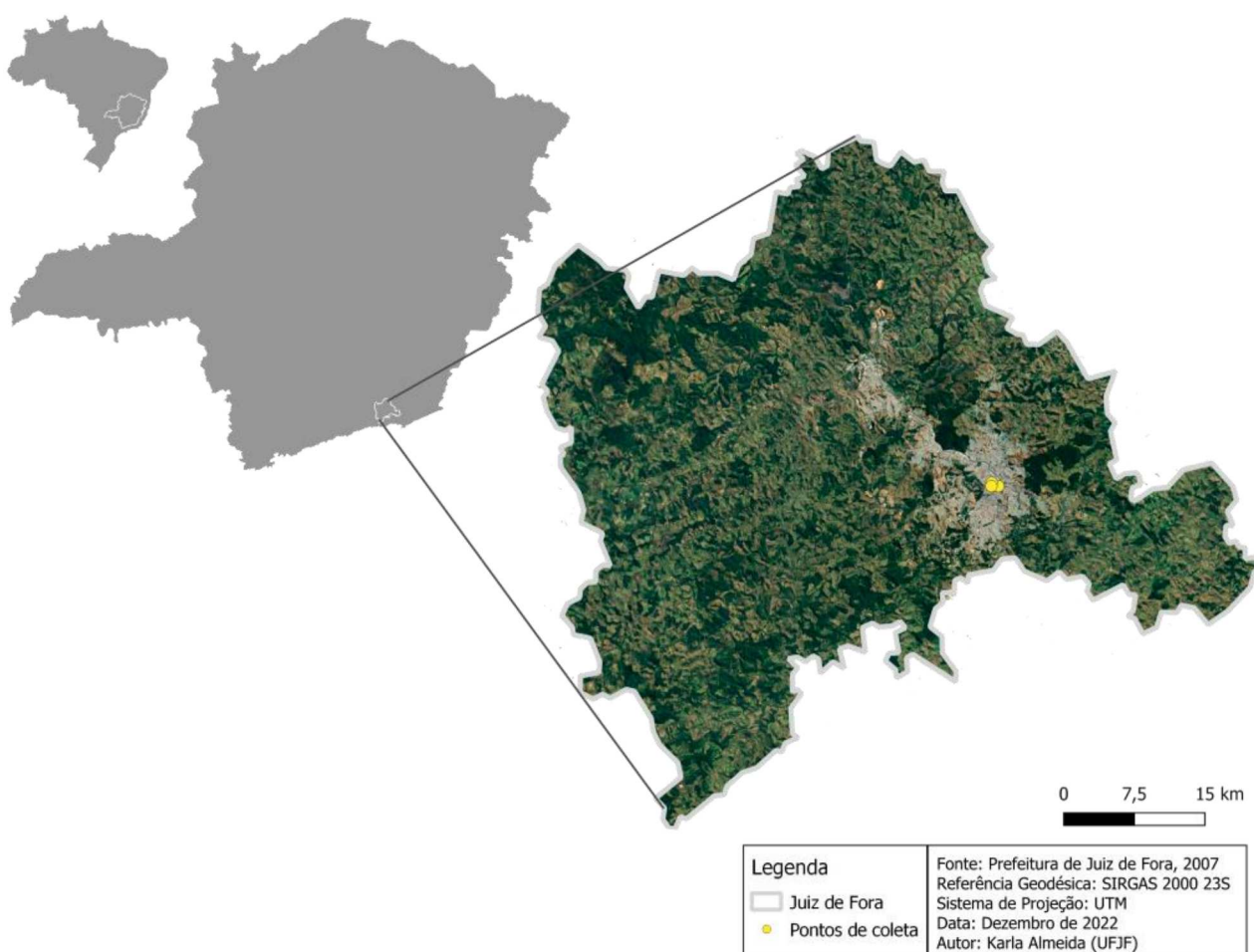
w é o valor potencial de aquecimento daquele pixel.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

Juiz de Fora é um município da microrregião de Juiz de Fora, e da região da Zona da Mata mineira, possui cerca de 583.285 habitantes e uma área de 1.478 quilômetros quadrados (IBGE, 2020).

Figura 9: Localização do recorte de estudo em Juiz de Fora, Minas Gerais.



Fonte: Mapa elaborado pela autora no *software* QGis, 2023.

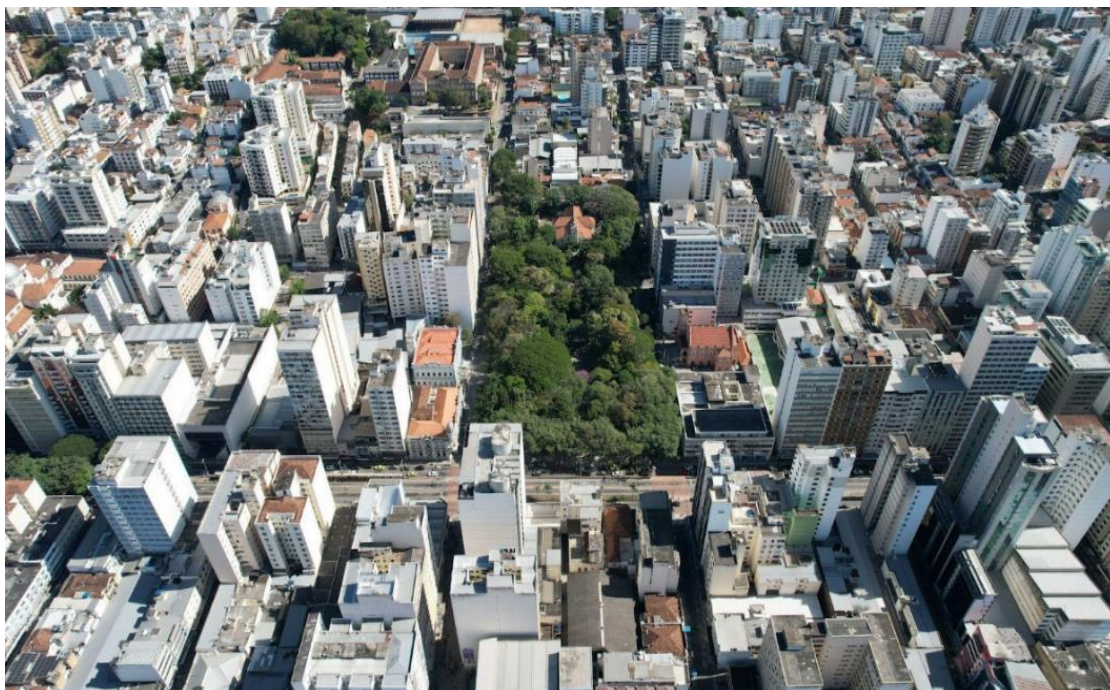
O estudo foi realizado na área central da cidade de Juiz de Fora (MG).

Para selecionar um recorte da área, foi escolhida primeiramente uma praça com alta densidade de massa vegetal.

Para isso, foram analisadas as praças apresentadas por ALBERTO (2020) onde foi constatado que o Parque Halfeld (Figura 10), um elemento marcante da região central da cidade, possui uma variedade de espécies e vegetações, sendo um

importante elemento representativo de massa verde em zona urbana. A Figura 10 mostra a densidade vegetal do Parque Halfeld, comparado com o seu entorno.

Figura 10: Parque Halfeld, no centro da cidade de Juiz de Fora.



Fonte: Autora (2022).

Em levantamento de campo, foi possível constatar que o Parque Halfeld possui mais de 275 espécies vegetais - dentre elas 100 consideradas de pequeno porte, 65 consideradas de médio porte e 60 consideradas de grande porte. Para realizar essa classificação, foi medido o diâmetro de cada tronco na altura de aproximadamente 1,45 metros.

Para esta subdivisão entre pequeno, médio e grande porte foi considerado o diâmetro da vegetação nativa da Mata Atlântica (IMANÁS-ENCINAS et al., 2005). A espécie palmeira (*Arecaceae*) foi considerada a parte por não ser nativa da região e ter sido plantada no parque para fins estéticos.

As mudas das árvores também foram consideradas em uma categoria à parte, uma vez que por ainda estarem em fase de crescimento, não poderiam ser consideradas junto a outras espécies já consolidadas.

Na Tabela 1 estão os resultados encontrados pelos autores relativos à densidade de massa vegetal presente no Parque Halfeld.

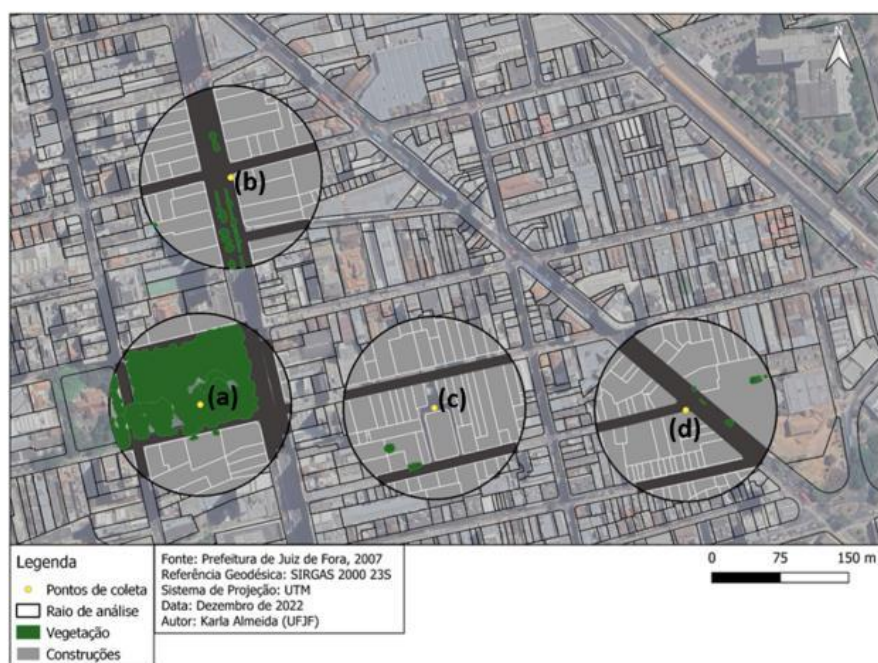
Tabela 1: Categorização das vegetações encontradas no Parque Halfeld.

Categoria da vegetação	Quantidade encontrada
Vegetação de Pequeno porte (média de Ø 0,63 m)	100 unidades
Vegetação de Médio porte (média de Ø 1,00 m)	65 unidades
Vegetação de Grande porte (média de Ø 3,74 m)	60 unidades
Palmeira (média de Ø 0,75 m)	18 unidades
Muda (média de Ø 0,30 m)	32 unidades

Fonte: Autora (2022).

Juntamente com o Parque Halfeld (Figura 11a), foram escolhidos locais em vias públicas próximas ao Parque para análises e comparações a fim de se estabelecer/verificar diferenças térmicas associadas a ausência ou presença de vegetação e ao gabarito das edificações do entorno. Dessa forma, optou-se por três vias de alto tráfego de pedestres e veículos: Avenida Barão do Rio Branco (Figura 11b), Rua Halfeld (Calçadão) (Figura 11c) e Avenida Getúlio Vargas (Figura 11d).

Figura 11: Localização dos pontos de análise no centro da cidade de Juiz de Fora. Pontos: (a) Parque Halfeld; (b) Av. Barão do Rio Branco; (c) Rua Halfeld (calçadão) e (d) Av. Getúlio Vargas.



Fonte: Autora (2022).

A Av. Barão do Rio Branco é caracterizada por uma caixa de rua larga, com cerca de 6,4 km de extensão e aproximadamente 27 metros de largura. Trata-se da maior avenida da cidade organizada no sentido Norte-Sul.

Possui duas pistas de mão única na direção sul e duas pistas de mão única para a direção norte. Além disso, em sua centralidade, possui também duas faixas duplas exclusivas para ônibus. O gabarito dessa via na proximidade do ponto de coleta varia entre 3-16 pavimentos.

A Rua Halfeld, importante elemento para o comércio da cidade, possui parte exclusiva para pedestres e parte não. O ponto de coleta está localizado no Calçadão da Rua Halfeld e refere-se a parte da rua exclusiva para pedestres. O calçadão possui aproximadamente 360 metros de comprimento, dez (10) metros de largura e gabarito variando entre 3-18 pavimentos.

Já a Av. Getúlio Vargas é conhecida principalmente pelos diversos pontos de ônibus existentes em sua extensão, possuindo um elevado fluxo de pedestres e veículos. Possui uma extensão de 930 metros de comprimento, 19 metros de largura e com um gabarito variando entre 2-16 pavimentos.

3.2. Mapeamento e Potencial Térmico

Utilizando de dados cedidos pela Prefeitura Municipal de Juiz de Fora (PJF), o software ArcGis 10.2.2 e Google Earth Pro, foram elaborados seis mapas iniciais, seguindo as recomendações procedimentais adotadas por Ferreira (2014): albedo, áreas verdes, cânion, emissividade, massa construída e permeabilidade. Os dados foram coletados em campo e outros foram vetorizados diretamente da fotografia aérea da cidade. Usando o Google Earth Pro quatro pontos foram identificados para a elaboração dos mapas: lago do Parque Halfeld; esquina da rua Barão do Rio Branco com a esquina da rua Marechal Floriano Peixoto; em frente ao Cine Teatro Central; e esquina da rua Getúlio Vargas com a esquina da rua São João. Posteriormente, estes pontos foram exportados para o software ArcGis e em seu entorno delimitado um raio de 100 metros, conforme recomendam Vianna et al. (2023).

Somando todas as camadas, foi gerado um mapa síntese final. Para compararmos os resultados do mapa com os dados reais registrados em superfície, foi utilizada a área de influência em torno das estações.

Segundo Oke (2004) a área de influência de uma estação de medição não é um raio simétrico, é uma elipse, determinada pela direção predominante do vento. Sendo o raio de influência da temperatura do ar, em torno de 100 metros em média dependendo do grau de densidade da área. Desta forma, foi utilizado um raio de 100 metros no entorno dos 4 pontos de controle para estudo e levantamento das variáveis do ambiente físico urbano.

Cada um destes mapas iniciais trabalha uma variável diferente, as quais são descritas a seguir.

3.2.1. Albedo

Esta variável pode ser definida, de acordo com Silva et al (2005 *apud* BEZERRA, SILVA, BEZERRA, 2011, p. 710), como a proporção entre os fluxos de radiação do sol, tantos os refletidos quanto os incidentes. Está ligado à cor do corpo que sofre essa incidência solar: quanto mais escura, maior a absorção energética. Para obtermos os valores apresentados nos mapas foram considerados o tipo de cobertura das edificações, os tipos de pavimentos e a vegetação. Os valores que foram atribuídos, tanto ao albedo quanto a emissividade que está diretamente relacionada com esta variante, são denominados pesos e variam de 1 a 5, quanto mais próximo do 5 maior o albedo.

Tabela 2: Valores considerados para a variável Albedo.

Albedo	
Variável	Peso
Telha metálica	1
Telha cerâmica	1
Fibrocimento	3
Laje	2
Asfalto	5
Vegetação	2
Água	2

Fonte: Ferreira, 2014.

Os parâmetros trabalhados nestes mapas foram extraídos de Vianna, Pimentel e Ferreira (2021).

3.2.2. Áreas Verdes

As áreas verdes, ainda de acordo com Viana, Pimentel, Ferreira (2021), de uma localidade, contribuem para o resfriamento de seu entorno e atuam amenizando a temperatura do ar. Nestes mapas dividimos a vegetação em arbórea e gramíneas (ou arbustiva), sendo seus pesos, respectivamente, -3 e -2. Elementos que não se classificarem entre ambos os parâmetros recebem peso 0 (zero).

Tabela 3: Valores considerados para a variável Áreas Verdes.

Áreas verdes	
Variável	Peso
Arbórea	-3
Arbustiva	-2
Área construída	0

Fonte: Ferreira, 2014.

Seus valores são negativos pois a vegetação arbórea, durante o dia, oferece um sombreamento e com isto um menor armazenamento do calor que é gerado, e assim, durante a noite também haverá uma menor liberação deste calor, conseqüentemente. Como seu potencial de resfriamento do ar é diferente se comparado com as outras superfícies da cidade, utiliza-se logo, um valor negativo (MASCARÓ, MASCARÓ, 2002 *apud* VIANA, PIMENTEL, FERREIRA, 2021).

3.2.3. Cânion

Os cânions são medidos, basicamente, de acordo com Nakata-Osaki, Souza, Rodrigues (2016): “[...] pela relação entre a altura dos edifícios e a largura da rua”. Viana, Pimentel, Ferreira (2017), também descrevem o cânion urbano composto por: “[...] duas paredes e o chão (normalmente uma rua) entre dois prédios adjacentes”. Ainda de acordo com os autores, quando a radiação do sol atinge uma superfície no cânion, pode ser absorvida, armazenada e parte dela é refletida. Os valores de absorção ou reflexão dependem do albedo desta superfície específica.

Oke (1981) sugeriu uma correlação entre a geometria dos vales urbanos com a intensidade máxima da ilha de calor (equação 1). Essa relação ocorre a partir da altura dos edifícios (H) e a distância entre eles (W), como demonstrado a seguir.

$$\Delta T = 7,45 + 3,97*(H/W) \quad \text{Equação 2}$$

Essa relação é associada também à de Fator de Visão do Céu ou *Sky View Factor* (SCF), que mede o nível de obstrução do céu (equação 2).

$$\Delta T = 15,27 - 13,88*SVF \quad \text{Equação 3}$$

O H/W é 0 para ambientes rurais. Já os bairros com baixa densidade de edificações apresentam cânions com valores próximos de 0,25 ou 0,5 e para áreas de alta densidade esperamos valores maiores como de 1,2 ou 3 (VIANNA, 2018).

O FVC, utilizado em estudos, comprova a correlação existente entre as áreas de pico de ilha de calor urbana e a densidade de construção em diferentes cidades (OKE, 1982 e HASENACK; FLORES, 1994).

3.2.4. Emissividade

Esta variável está diretamente relacionada com o albedo e pode ser definida, segundo Perin (2009), como o resultado entre a radiação emitida por uma superfície e a radiação emitida pela superfície negra, de uma área igual, na mesma temperatura. Foi aplicado para esta variável um peso de 1 a 5, sendo quanto mais próximo do 5 maior a emissividade.

Tabela 4: Valores considerados para a variável Emissividade.

Emissividade	
Variável	Peso
Telha metálica	5
Telha cerâmica	2
Fibrocimento	2
Laje	2

Asfalto	2
Vegetação	1
Água	2

Fonte: Ferreira, 2014.

3.2.5. Massa Construída

A massa construída é referente aos corpos existentes nos mapas. Para se chegar ao seu valor, é utilizada uma equação que foi descrita por Vianna, Pimentel, Ferreira (2021), como sendo:

$$Mc = (P \cdot h \cdot Ec1 \cdot ya) + (A \cdot NL \cdot Ec2 \cdot yc) \quad \text{Equação 4}$$

sendo:

Mc = massa construída

ya = densidade de alvenaria = 1650 kg/m³

yc = densidade do concreto = 2400 kg/m³

P = perímetro da edificação (m)

h = altura da edificação (m) (adotou-se 3m como altura padrão de cada pavimento)

Ec1 = Espessura média do concreto nas construções, adotado valor de 0,14 m para as paredes externas

A = área da edificação (m²)

NL = número de lajes +1

Ec2 = Espessura média das lajes de concreto nas construções, adotado 0,10 m como valor de referência.

Tabela 5: Valores considerados para a variável Massa Construída.

Massa construída (Kg/m ²)	
Variável	Peso
37,6 – 506	1
506,1 – 917	2
917,1 – 1647	3

1647,1 – 3433	4
3433,1 - 8328	5

Fonte: Ferreira, 2014.

Seu peso, obtido após utilizar a ferramenta *reclassify* no ArcGis, varia também de 1 a 5, e quanto mais próximo do 5, maior a massa do objeto, maior a edificação e maior, também, capacidade de armazenamento de calor. Sendo assim o ar próximo a estas construções pode atingir maiores temperaturas (VIANA, PIMENTEL, FERREIRA, 2021).

3.2.6. Permeabilidade

A permeabilidade é a capacidade de absorção de água de um corpo (FIGG, 1973). As áreas impermeáveis, que não deixam infiltração ocorrer, impedem o resfriamento da superfície pela evaporação. Sendo assim, os pesos que são atribuídos podem ser, 5, 4 ou 0, sendo o 5 utilizado para áreas impermeáveis, o 4 utilizado para áreas semi-impermeáveis e o 0 utilizado para áreas permeáveis (FERREIRA, 2014).

Tabela 6: Valores considerados para a variável Impermeabilização.

Taxa de impermeabilização	
Variável	Peso
Permeável	0
Semi-permeável	4
Impermeável	5

Fonte: Ferreira, 2014.

Após a confecção destes mapas temáticos foi utilizada no software ArcGis a ferramenta *Raster Calculator* para integração destas variáveis gerando o mapa final de potencial de aquecimento do ar, seus valores variam entre muito baixo, baixo, potencial médio, alto e muito alto.

3.2.7. Temperatura do ar

Na coleta dos dados de temperatura do ar foram utilizados termohigrômetros da marca *Oregon Scientific* (Figura 12). Para este trabalho foram utilizados apenas dados de temperatura do ar.

Figura 12: Termohigrômetro utilizado na coleta dos dados.



Fonte: Autora (2024).

Os dados de temperatura do ar foram coletados entre os dias 10 e 19 de dezembro de 2022 em três horários distintos: 8h, 13h e 19h. No inverno, os dados foram coletados entre os dias 9 e 15 de Julho de 2022. Os pontos de coleta foram selecionados de forma que não houvesse incidência solar direta em nenhum dos quatro locais, para evitar exposição direta a radiação solar que pudesse interferir nos resultados.

3.3. Análise Estatística

Os dados de temperatura do ar dos respectivos horários foram comparados por meio da Análise de Variância (ANOVA). Segundo Fernandes (1999), o teste pretende

revelar se existem variações significativas em média entre os diferentes conjuntos de dados.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + e_{ij}$$

Equação 4

Onde:

μ é a média geral dos dados;

$\beta = \mu_j - \mu$, consiste no desvio do tratamento j , diferença entre a média do tratamento e média;

e_{ij} são os erros causais.

A hipótese nula (H_0) é de que $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ e que $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k$

Essa hipótese (H_0) sugere que não há diferença significativa entre os conjuntos de dados em relação à média com nível de confiança acima de 95%.

Caso tal hipótese (homogeneidade dos dados) seja refutada, deverá ser aceita uma hipótese alternativa (H_1) (de que os dados são estatisticamente diferentes). Também será necessário complementar as análises a partir da aplicação do teste de Tukey para indicar quais pontos são, estatisticamente, diferentes entre si, conforme recomendam Sanches et al (2018).

Na aplicação da ANOVA, do teste de Tukey e na visualização dos dados, por meio de gráficos *boxplot*, foi utilizado o software *Past 3*. Essa metodologia está de acordo com o trabalho Sanches et al (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Potencial Térmico

Os mapeamentos de áreas verdes e de permeabilidade demonstraram a significativa massa vegetal no Parque Halfeld quando comparado aos demais pontos, o que favorece o seu conforto térmico (Figura 13).

Figura 13: Mapa de áreas verdes.



Fonte: Autora (2024).

Já a condição de cânion urbano analisada através da métrica da relação entre altura média das edificações e a largura da via (H/W) pode ser observada no Calçadão da rua Halfeld e ao longo das avenidas Getúlio Vargas e Rio Branco (Figura 14).

Figura 14: Mapa de cânions urbanos.



Fonte: Autora (2024).

Já a Figura 15 indica a emissividade de energia dos materiais no entorno dos quatro pontos de coleta. Os pontos onde a emissividade contribuí para o maior potencial de aquecimento são de edificações com coberturas metálicas.

Figura 15: Mapa de emissividade.



Fonte: Autora (2024).

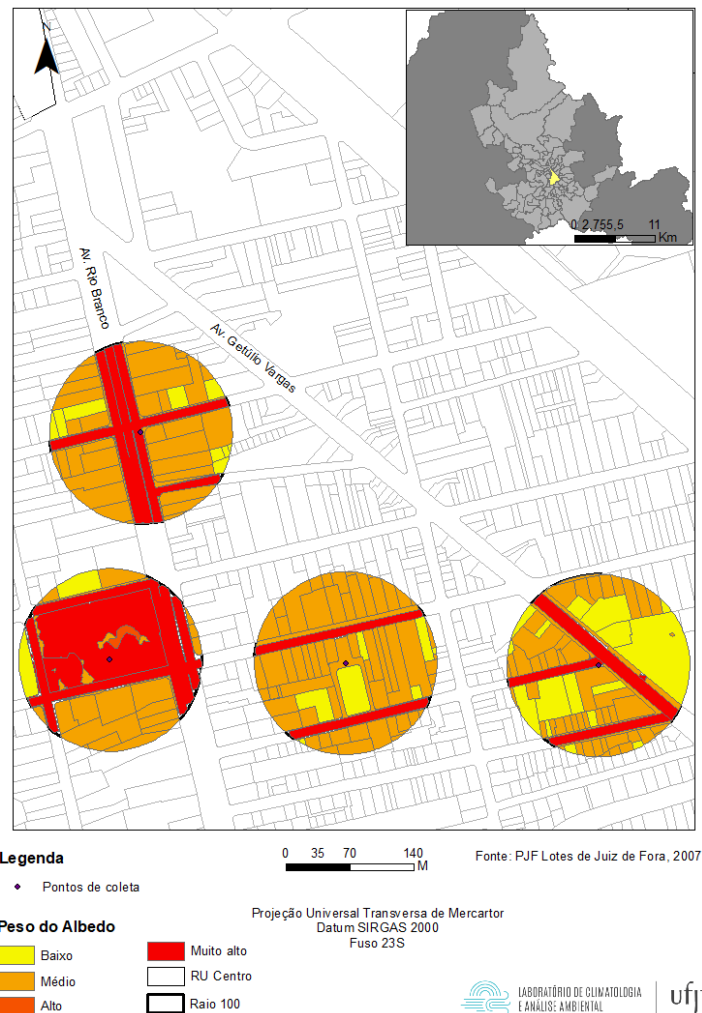
Na Figura 16 temos como superfícies de baixíssimo albedo, como o asfalto das vias, estas são classificadas como grande potencial de contribuição para o aquecimento do ar.

As vegetações arbóreas perenes de folhas escuras se analisadas somente pelo aspecto dessa variável, tem valores de albedo próximos ao asfalto (0,2 e 0,12 respectivamente). Contudo, a modelagem para representar a realidade leva em conta as diversas variáveis integradas que farão a diferenciação entre o comportamento térmico de ambas superfícies.

É interessante observar albedos mais intensos no Parque Halfeld e menos intensos na Avenida Getúlio Vargas, por exemplo. Esse dado contribui para uma menor discrepância de potencial de aquecimento térmico no resultado final, apesar

das temperaturas coletadas em campo indicarem que o Parque Halfeld se mostra como ilha de frescor especialmente quando comparado à Avenida Getúlio Vargas.

Figura 16: Mapa de albedo.



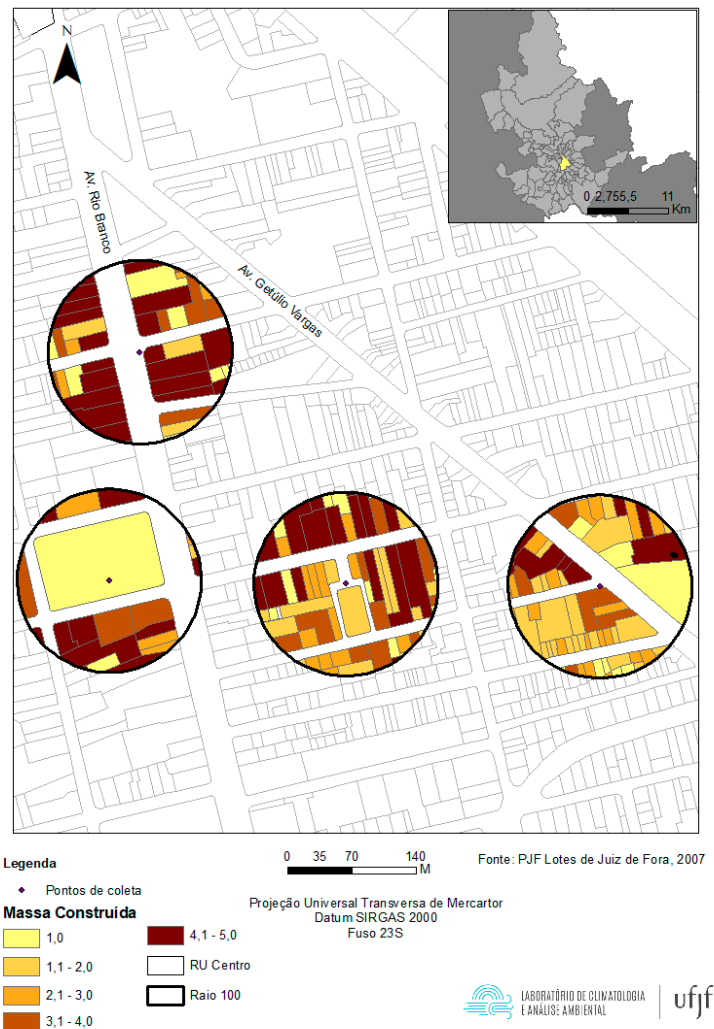
Fonte: Autores (2024).

A Figura 17 mostra o resultado do mapeamento da massa construída. Verifica-se que o entorno dos pontos das avenidas Getúlio Vargas e Rio Branco possuem maior massa construída, comparado ao calçadão da rua Halfeld e, sobretudo, ao Parque Halfeld.

A massa construída no raio de 100 metros do Parque Halfeld é maior do que a massa construída da Avenida Getúlio Vargas, por exemplo. A Avenida se mostrou mais quente durante a maior parte das coletas, reforçando que nenhum dado pode

ser analisado isoladamente. Esse resultado, porém, ajuda a equilibrar os resultados de potencial térmico no mapa final.

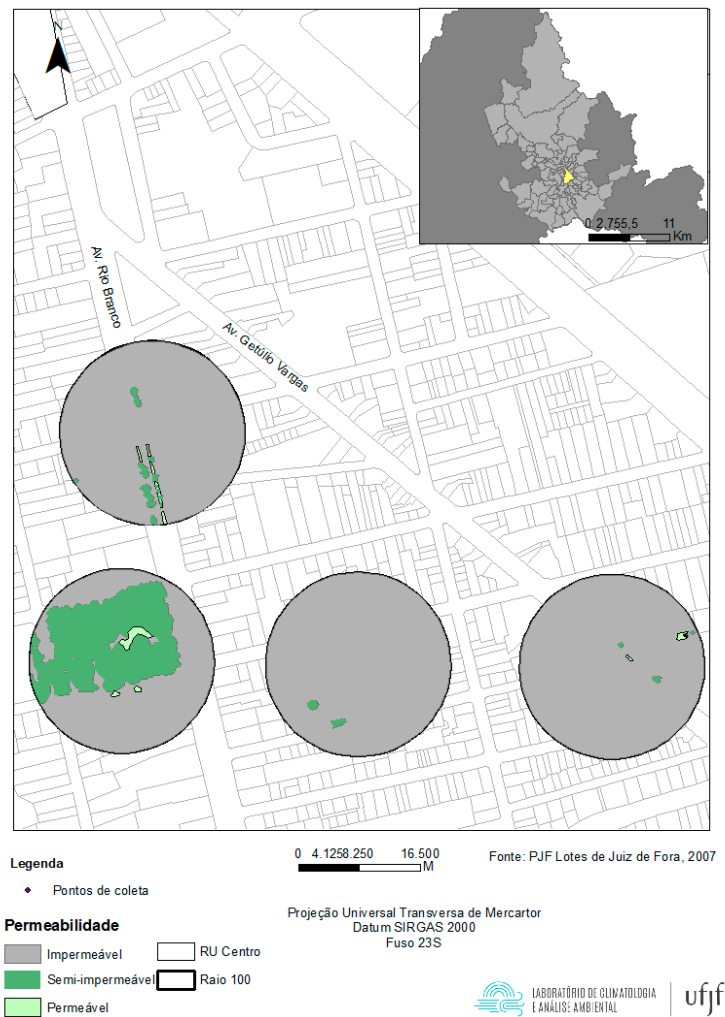
Figura 17: Mapa de massa construída.



Fonte: Autora (2024).

Já o mapa da permeabilidade (Figura 18) assemelha-se aos resultados da cobertura vegetal (Figura 13). Contudo, essa variável é de suma importância na diferenciação na temperatura entre comportamento da vegetação e do asfalto, que possuem quase o mesmo albedo e emissividade. Além disso conforme a metodologia em Vianna, Pimentel e Ferreira (2021), a vegetação recebe valores negativos como elemento mitigador do aquecimento do ar, decorrente dos processos fisiológicos das plantas (Fotossíntese Respiração, Transpiração etc.).

Figura 18: Mapa de permeabilidade.



Fonte: Autores (2024).

Por fim, aplicando-se a metodologia do Mapeamento de Potencial Térmico proposta por Ferreira (2014) e Viana, Pimentel e Ferreira (2021), o resultado é o mapa do Potencial Térmico (Figura 19).

A área central como um todo possui forte potencial de formação de ilhas de calor, conforme demonstrado em outros trabalhos como Assis et al (2016) e Carvalho et al (2022). Dentro desse contexto, porém, o mapa aponta que o Parque Halfeld possui menor potencial de formação de ilhas de calor na área central, sendo uma área de maior frescor comparativamente aos outros pontos. Em seguida temos a Rua Halfeld, depois a Getúlio Vargas e, por fim, a Avenida Rio Branco.

Figura 19: Mapa de potencial térmico de aquecimento.



Fonte: Autora (2024).

É possível observar que, apesar de a Avenida Getúlio Vargas apresentar os dados de temperatura mais altos na maioria das coletas em campo, no potencial térmico ela se mostrou a segunda com maior potencial. Isso ocorre possivelmente devido a outras variáveis não contabilizadas na presente aplicação do modelo de Potencial Térmico, como trânsito intenso de veículos e pessoas, e poluição. Além disso, dados como massa construída e albedo ajudam a diminuir o potencial de aquecimento da Avenida Getúlio Vargas. É importante ressaltar que outros estudos de variáveis adicionais são importantes para complementar a análise do presente trabalho.

4.2. Temperaturas

São detalhados, a seguir, os valores dos dados coletados durante o levantamento de temperaturas nas duas principais estações do ano, verão e inverno. Posteriormente, é apresentada a análise dos dados.

4.2.1. Verão

A Tabela 7 mostra os valores das temperaturas do ar nos quatro pontos analisados, nos três horários de coleta (8h, 13h e 19h), durante o período (de 10/12 a 19/12).

Tabela 7: Temperatura do ar nos horários de coleta (8h, 13h e 19h).

Dia	Temp do Ar (8h)				Temp do Ar (13h)				Temp do Ar (19h)			
	PH	RB	Half.	Get.	PH	RB	Half	Get.	PH	RB	Half.	Get.
10/12	24,8	26,0	25,6	27,6	29,8	30,7	31,5	30,6	24,5	26,8	26,4	27,2
11/12	26,6	29,8	27,0	30,7	30,0	32,6	32,6	34,2	25,6	27,9	25,7	28,6
12/12	24,5	27,0	27,2	28,8	26,8	28,5	30,9	30,6	23,1	25,3	23,6	25,4
13/12	25,3	26,8	27,9	30,0	24,5	25,9	25,1	28,5	23,3	26,8	23,7	27,1
14/12	23,7	27,0	25,2	28,4	26,9	30,4	28,9	30,6	20,7	23,8	21,6	23,7
15/12	21,3	22,7	25,4	25,8	26,5	29,5	27,9	30,0	22,8	25,7	23,2	25,8
16/12	26,1	29,5	27,4	30,6	29,4	32,9	30,9	32,0	27,4	28,7	30,7	29,4
17/12	27,2	30,1	29,4	30,0	31,3	34,3	33,6	34,6	28,6	31,3	29,0	31,1
18/12	25,5	27,0	28,1	30,2	24,7	26,1	25,3	28,7	23,5	27,0	23,9	27,3
19/12	23,6	26,9	25,1	28,3	26,8	30,3	28,8	30,5	20,6	23,7	21,5	23,6

Legenda: Parque Halfeld (PH); Avenida Rio Branco (RB); Rua Halfeld (Half.); Av. Getúlio Vargas (Get).

Fonte: Autora (2024).

Tabela 8: Temperatura média diária em cada área. Legenda: Parque Halfeld (PH); Avenida Rio Branco (RB); Rua Halfeld (Half.); Av. Getúlio Vargas (Get).

Média diária - temperatura do ar (°C)				
Dia	PH	RB	Half.	Get.
10/12	26,3	27,8	27,8	28,4
11/12	27,4	30,1	28,3	31,2
12/12	24,8	26,9	27,2	28,2
13/12	24,3	26,5	25,6	28,5
14/12	23,7	27	25,2	27,5
15/12	23,5	25,9	25,5	27,2
16/12	27,3	31,7	29,6	30,6

17/12	29	31,9	30,6	31,9
18/12	24,5	26,7	25,7	28,7
19/12	23,6	26,9	25,1	27,4

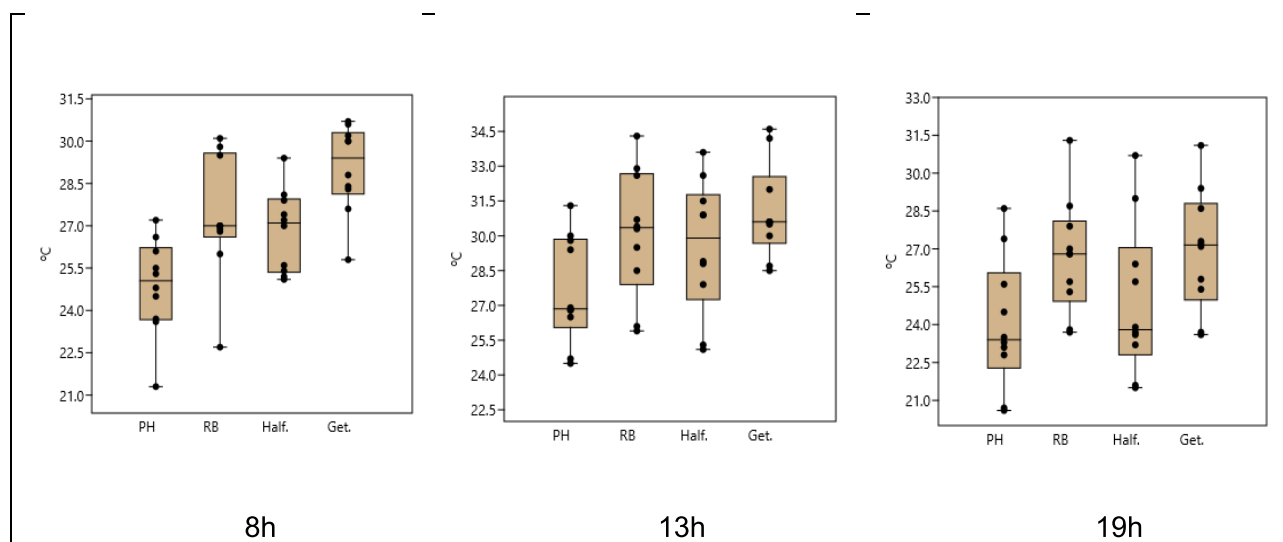
Fonte: Autora, 2024.

A Figura 20 mostra a distribuição dos dados coletados, nos respectivos horários, por meio de gráficos de *boxplot*. Os gráficos sugerem que às 8 horas, o Parque Halfeld encontra-se com as menores temperaturas em função dos demais pontos de coleta, sobretudo em relação aos dados das avenidas Rio Branco e Getúlio Vargas.

No horário das 13h, embora haja maior distribuição dos dados, os dados do Parque Halfeld mostram-se inferiores ao dos demais pontos de coleta. Distribuição similar também pode ser observada no horário das 19h.

Os testes (ANOVA e Tukey) poderão confirmar (ou não) as observações por meio das análises gráficas.

Figura 20: Boxplot das temperaturas do ar (8h, 13h e 19h).



Fonte: Autora (2024).

4.2.2. Inverno

Após as medições, foi constatado que o Parque Halfeld apresentou uma temperatura média diária de 21,9°C, enquanto a Avenida Rio Branco apresentou

média de 23,7°C, a rua Halfeld de 23°C e a Getúlio Vargas de 23,8°C. O resultado das medições obtidas em campo pode ser conferido na tabela abaixo.

Tabela 9: Temperatura do ar nos horários de coleta (8h, 13h e 19h).

Dia	Temp do Ar (8:30)				Temp do Ar (13h)				Temp do Ar (19h)			
	PH	RB	Half.	Get.	PH	RB	Half.	Get.	PH	RB	Half.	Get.
09/07	17,1	18,8	18	18,5	22,5	24,5	25,7	26,4	21,3	25	21,7	24,6
10/07	20,6	21,9	22,5	22	23,8	24,8	23,8	25,7	21,4	23,4	20,8	22,1
11/07	19,2	21,4	20,6	20,8	23,7	24	24,3	24,9	21,4	22,1	21,2	21,5
12/07	19	20,1	19,8	19,7	25,3	25,6	27,1	27,7	23,1	23	23,7	23,1
13/07	19,6	20,8	20,1	20,4	25,3	25,1	25,9	26,8	20,6	21	21,7	22,6
14/07	19,8	20,6	22	22,2	24,2	24,4	24,6	25,7	20,3	20,9	23,2	23,1
15/07	21,7	22,2	23,4	22,9	27,6	27,3	29,5	28,7	22,9	23,4	24,6	24

Legenda: Parque Halfeld (**PH**); Avenida Rio Branco (**RB**); Rua Halfeld (**Half.**); Av. Getúlio Vargas (**Get.**).

Fonte: Autora (2024).

Tabela 10: Temperatura média diária em cada área.

Média diária - temperatura do ar				
Dia	PH	RB	Half.	Get.
09/07	20,3	28,8	21,8	23,2
10/07	21,9	23,4	22,4	23,3
11/07	21,4	22,5	22	22,4
12/07	22,5	22,9	23,5	23,5
13/07	21,9	22,3	22,6	23,3
14/07	21,4	22	23,3	25,8
15/07	24,1	24,3	25,8	25,2

Legenda: Parque Halfeld (**PH**); Avenida Rio Branco (**RB**); Rua Halfeld (**Half.**); Av. Getúlio Vargas (**Get.**).

Fonte: Autora, 2024.

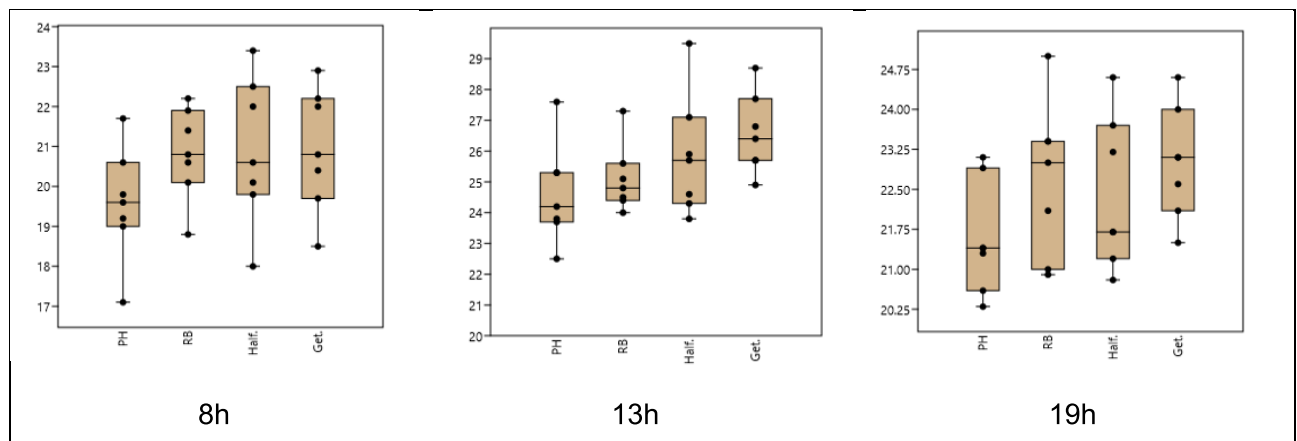
Pode-se observar que o Parque Halfeld apresentou como temperatura média 1,1°C a menos que a Rua Halfeld; 1,8°C a menos que a Avenida Rio Branco e 1,9°C a menos que a Avenida Getúlio Vargas.

A Figura 21 mostra a distribuição dos dados coletados, nos respectivos horários, por meio de gráficos de *box plot*. Os gráficos sugerem que as 8 horas (Figura 21a), o Parque Halfeld encontra-se com as menores temperaturas em função dos demais pontos de coleta.

No horário das 13h, embora haja maior distribuição dos dados, os dados do Parque Halfeld mostram-se inferiores aos dos demais pontos de coleta (Figura 21b). Distribuição similar também pode ser observada no horário das 19h (Figura 21c).

Os testes (ANOVA e Tukey) poderão confirmar (ou não) as observações por meio das análises gráficas.

Figura 21: *Boxplot* das temperaturas do ar (8h, 13h e 19h).



Fonte: Autora (2024).

4.3. Análise Estatística

4.3.1. Verão

Os resultados da ANOVA (Tabela 11) apresentam os resultados do teste aplicados aos dados de verão.

Seus resultados demonstram a rejeição da H_0 (aceite da hipótese alternativa H_1) para os três horários analisados, uma vez que o valor da estatística F mostrou-se superior ao valor do F Crítico (limite aceitável).

Tabela 11: Resultados da estatística da ANOVA para os dados do verão.

Anova (9h)						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	88,52	3	29,50	9,66*	0,00008082568458	2,86
Dentro dos grupos	109,87	36	3,05			
Total	198,39	39				

Anova (13h)						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	60,42	3	20,14	3,16*	0,03625501239	2,86
Dentro dos grupos	229,44	36	6,37			
Total	289,86	39				

Anova (19h)						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	59,23	3	19,74	2,93*	0,04657376151	2,86
Dentro dos grupos	242,50	36	6,73			
Total	301,73	39				

Legenda: Soma dos quadrados (SQ); Grau de liberdade (gl); Média dos Quadrados (MQ), Estatística de Ficher (F).

(*) Resultado com significância estatística.

Já os resultados do Teste Tukey (Tabela 12) revelaram quais pontos variaram significativamente em função do Parque Halfeld nos respectivos horários analisados.

Na coleta das 8h, os pontos da Av. Rio Branco e da Av. Getúlio Vargas variaram significativamente em função do Parque Halfeld, fato igualmente observado na Figura 21.

Tabela 12: Resultados do Teste Tukey para os dados do verão.

8h.	PH	Av. RB	Half.	Av. Getúlio
PH		0,01882*	0,07322	2,94E-05*
Av. RB	4,382		0,9386	0,1286
Halfeld	3,568	0,8146		0,03645*
Av. Getúlio	7,568	3,186	4	

13h.	PH	Av. RB	Half.	Av. Getúlio
PH		0,1511	0,3565	0,02554*
Av. RB	3,069		0,9574	0,8512
Halfeld	2,355	0,714		0,5622
Av. Getúlio	4,209	1,14	1,854	

19h.	PH	Av. RB	Half.	Av. Getúlio
PH		0,1129	0,8573	0,07576
Av. RB	3,277		0,4336	0,9975
Halfeld	1,121	2,157		0,3312
Av. Getúlio	3,546	0,268	2,425	

Legenda: Parque Halfeld (PH); Avenida Rio Branco (Av. RB); Rua Halfeld (Half.).

(*) Resultado com significância estatística segundo Teste de Tukey.

Fonte: Autora (2024).

No horário das 13h, apenas o ponto da Av. Getúlio Vargas variou significativamente em função do Parque Halfeld (Tabela 12 e Figura 21). O fato de

penas um ponto ter variado em função do Parque Halfeld pode estar atribuído a elevada incidência de radiação do horário e da época do ano.

Por fim, para o horário das 19h, mesmo o resultado da ANOVA ($F > F_{\text{Crítico}}$) tendo indicado que os dados não são, estatisticamente, homogêneos (aceitar a H_1) (Tabela 11), o resultado do Teste Tukey não indicou qual ponto variou em função do Parque Halfeld.

Acredita-se que tenha sido o ponto Av. Getúlio pelo resultado de seu p -value (0,075) ser próximo do limite de aceitação ($p\text{-value} \leq 0,05$).

4.3.2. Inverno

Os resultados da ANOVA (Tabela 13) demonstram a afirmação da H_0 (hipótese nula) para os três horários analisados, uma vez que o valor da estatística F mostrou-se inferior ao valor do F Crítico (limite aceitável).

Tabela 13: Resultados da estatística da ANOVA.

Anova (9h)						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	9,17	3	3,05	1,33	0,2864258466	3
Dentro dos grupos	54,99	24	2,29			
Total	64,1667	27				

Anova (13h)						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	15,0525	3	5,0175	2,13	0,1227348875	3
Dentro dos grupos	56,50	24	2,35			
Total	71,5610	27				

Anova (19h)						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	7,88	3	2,62	1,63	0,2074937032	3
Dentro dos grupos	38,59	24	1,6			
Total	46,48	27				

Legenda: Soma dos quadrados (SQ); Grau de liberdade (gl); Média dos Quadrados (MQ), Estatística de Fisher (F).

Devido ao resultado favorável à hipótese nula H_0 pelo teste ANOVA no período do inverno, foi descartado o Teste Tukey que revelaria significativamente em relação ao Parque Halfeld.

5. POSSÍVEIS INTERVENÇÕES URBANAS

5.1. Aplicação nos pontos analisados em Juiz de Fora

De acordo com os resultados obtidos pelo levantamento e análise de dados, a Avenida Rio Branco e a Avenida Getúlio Vargas especialmente carecem de intervenções urbanas que promovam o resfriamento.

Alterar os materiais construtivos, massa construída, cânions (dimensões das ruas e construções) não são soluções viáveis e aplicáveis. Portanto, o presente estudo foca na solução vegetativa e de infraestrutura verde, por ser considerada de aplicação mais viável.

Uma sugestão viável e aplicável - sem que sejam alteradas estruturas como asfalto, dimensões de ruas ou materiais construtivos - se dá pela infraestrutura verde.

Nos subcapítulos seguintes, são propostas as possíveis intervenções urbanas de acordo com os referenciais bibliográficos sobre o tema.

Figura 22: Localização dos pontos de intervenção no centro da cidade de Juiz de Fora. Pontos: (b) Av. Barão do Rio Branco; (c) Rua Halfeld (calçadão) e (d) Av. Getúlio Vargas.



Fonte: Autora (2022).

5.1.1. Avenida Getúlio Vargas

A Avenida Getúlio Vargas, apresentou temperaturas mais quentes quando comparadas às demais ruas, com 1,9°C em média a mais que o Parque Halfeld. Os dados evidenciaram variações significativas de temperatura. Diante desse panorama, surge a necessidade de considerar estratégias inovadoras para aprimorar o conforto térmico e a qualidade de vida para os habitantes e transeuntes dessa área urbana.

Neste contexto, a sugestão de implementação de vegetação ao longo da Avenida Getúlio Vargas emerge como uma resposta promissora. Ao explorar os potenciais impactos da introdução de áreas verdes neste espaço urbano dinâmico, almejamos não apenas amenizar as temperaturas extremas, mas também estabelecer uma fundação sustentável para um ambiente urbano mais equilibrado e resiliente.

Este segmento dá como sugestão locais para inserção da vegetação na Avenida Getúlio Vargas, destacando seu papel crucial na adaptação às demandas climáticas emergentes e na promoção de um tecido urbano mais saudável e harmonioso.

Dado que já existe um canteiro central na avenida, apenas com vegetação rasteira, consideramos interessante a implantação de árvores nativas de espécie adequada no local que já possui a estrutura para isso. As espécies selecionadas podem ser estudadas em futuras pesquisas. A figura 23 ilustra a proposição.

Figura 23: Sugestão ilustrativa de inserção de vegetação na Avenida Getúlio Vargas, Juiz de Fora.



Fonte: Autora, 2024.

Além da escala e espaço disponível para a vegetação, é importante considerar a cultura e a paisagem existente no local. A paisagem urbana leva em consideração a história da cidade e da população, a cultura, os costumes locais e a conformação urbana que já existe previamente à alteração (BONAMETTI, 2020).

O conjunto arquitetônico da Fábrica Bernardo Mascarenhas também deve ser levado em consideração pois, além de ser um bem tombado da cidade, é considerado um importante marco cultural e arquitetônico (MORATORI, 2016).

Dessa forma, foi importante manter a paisagem local e não interferir na visualização do complexo Mascarenhas. No caso da Avenida Getúlio Vargas, o objetivo também foi aproveitar a área permeável já existente. Apesar da permeabilidade, o trecho não conta com vegetação de maior porte, como árvores nativas, mas possui a estrutura necessária para a sua inserção. A intenção não é gerar grandes mudanças de paisagem, mas prover os serviços ecossistêmicos, em especial a regulação de temperatura.

5.1.2. Avenida Rio Branco

A Avenida Rio Branco também se revelou como um dos mais suscetíveis às variações de temperatura que caracterizam os ambientes urbanos, com 1,8°C a mais que o Parque Halfeld. Diante do desafio crescente de lidar com o aumento das temperaturas locais, torna-se imperativo considerar intervenções que possam atenuar esse fenômeno.

Nesse contexto, a proposta de inserção estratégica de vegetação na Avenida Rio Branco emerge como uma alternativa promissora e sustentável. A introdução de elementos vegetais não apenas oferece benefícios estéticos, mas também desempenha um papel crucial na regulação térmica, reduzindo os efeitos do calor urbano e proporcionando um ambiente mais ameno para residentes e visitantes.

A Avenida Rio Branco no recorte de estudo possui calçada de 1,70 metros e média (com variações entre a esquina e o seu entorno imediato). Considerando a dimensão mínima de 1,20 metros para a faixa livre, percebe-se a possibilidade de implementação de faixa de serviço com vegetação e iluminação pública no local. Por não haver a estrutura prévia para inserção de vegetação, é necessária a reforma urbana para implementação de arbustos de pequeno a médio porte. Dadas as particularidades do recorte de estudo da Avenida Rio Branco, também é possível perceber a possibilidade de implementação de paredes verdes.

A escolha do porte da vegetação se dá pela necessidade de a copa não enclausurar a temperatura da calçada. Caso haja o enclausuramento, a temperatura pode ser ainda maior do que quando comparada com a ausência de vegetação (NORTON, 2015).

Figura 24: Sugestão ilustrativa de inserção de vegetação na Avenida Rio Branco, Juiz de Fora.



Fonte: Autores, 2024.

Dessa forma, foi ilustrado como seria uma vegetação espaçada e de pequeno porte. Com espécies nativas e estrategicamente selecionadas, porém, é possível obter a regulação de temperatura e umidade, além de outros serviços ecossistêmicos desejáveis para a região (BOTTYAN et al., 2005).

5.1.3. Rua Halfeld

A Rua Halfeld, apesar de não ter apresentado as temperaturas mais quentes do estudo, também possibilita a inserção de vegetação a fim de otimizar o microclima local. Ela apresentou 1,1°C a mais que o Parque Halfeld.

A natureza dinâmica e movimentada deste trecho urbano é evidenciada não apenas pela presença marcante de pedestres, mas também pelas consideráveis flutuações de temperatura que caracterizam a região. A aglomeração de pessoas é um fator que também pode gerar aquecimento local.

Diante desse contexto, a proposta de introdução de vegetação no ponto estudado da Rua Halfeld se apresenta como uma medida estratégica e multifacetada para enfrentar os desafios térmicos específicos desta área. A vegetação, além de adicionar um componente estético e atrativo, pode desempenhar um papel fundamental na regulação térmica, mitigando os efeitos adversos das altas temperaturas urbanas.

Figura 25: Sugestão ilustrativa de inserção de vegetação na Avenida Rio Branco, Juiz de Fora.



Fonte: Autores, 2023.

A paisagem urbana de uma região histórica como a rua Halfeld, em especial a área do Cine Teatro Central em Juiz de Fora, é ainda mais sensível a alterações. Regiões históricas comumente refletem a herança e a identidade de uma comunidade ao longo do tempo (BONAMETTI, 2020). O Cine Teatro Central, por sua vez, carrega a representação da identidade cultural, o estilo arquitetônico e a história da cidade (BARBOSA et al., 2013).

Dessa forma, a ilustração sugestiva de inserção de vegetação busca a adequação à paisagem local, sem consideráveis alterações de paisagem e se adequando à fachada histórica do Cine Teatro Central em Juiz de Fora. O espaçamento do paisagismo tem como objetivo não interferir no trânsito de pedestres. Além disso, foi considerado o fato de essa região ter apresentado dados de

temperatura consideravelmente mais baixos que a Avenida Getúlio Vargas e a Avenida Rio Branco. Isso possibilita, portanto, intervenções menores.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou identificar as variações de temperatura causadas pela conformidade urbana, especialmente a presença ou ausência de vegetação. Para isso, foram feitas verificações de temperatura em horários fixos do dia durante 10 dias no verão e no inverno, análise estatística dos resultados encontrados e Mapeamento de Potencial Térmico nos locais analisados.

Os resultados indicaram que o Parque Halfeld apresenta temperaturas significativamente menores que a Avenida Rio Branco, a Rua Halfeld e a Avenida Getúlio Vargas. O Mapeamento de Potencial Térmico, apesar de apresentar variações em relação às medições, confirmou o potencial dessas três áreas como locais potencialmente mais quentes quando comparadas ao Parque Halfeld.

Em resumo, pode-se observar que o Parque Halfeld apresentou como temperatura média 1,1°C a menos que a Rua Halfeld; 1,8°C a menos que a Avenida Rio Branco; e 1,9°C a menos que a Avenida Getúlio Vargas. O Mapeamento de Potencial Térmico, por sua vez, sugere que a Avenida Getúlio Vargas seria o segundo ponto com maior nível de temperatura, atrás da Avenida Rio Branco.

Essa variação pode ser explicada pela maior presença e fluxo de grandes veículos automotivos na Avenida Getúlio Vargas, por se tratar de um movimentado ponto de ônibus. Além do calor produzido por eles (motor), a poluição gerada por esses grandes veículos também pode contribuir, de alguma forma, para o aumento de temperatura.

As sugestões de intervenções urbanas, por sua vez, mostram a possibilidade de mitigação desses pontos de calor através da inserção de vegetação. As intervenções também demonstram que é possível inserir vegetação independente da escala e da conformação urbana.

Ficou evidente também que a presença de árvores, em especial, contribui mais para a mitigação de ilhas de calor do que outros tipos de vegetação de menor porte. Além disso, com o intuito de não interferir em negócios e propriedades privadas, não houve sugestão de intervenção em fachadas e telhados.

Cabe destacar algumas limitações do presente estudo. É necessário analisar, em futuras pesquisas, outras causas do aumento da temperatura no processo de mapeamento de Potencial Térmico. Tráfego de veículos, presença de pessoas, aglomerações e eventos, e poluição são algumas das possíveis causas de aquecimento que não foram consideradas.

Outra limitação também se deu pelas medições em campo serem realizadas presencialmente pela autora, o que limita o tempo hábil de medições e desafia a logística da análise. Se possível, é preferível coletar as temperaturas com aparelhos automáticos, possibilitando um intervalo maior de dias analisados e resultados mais precisos - uma vez que dispensaria o rápido trajeto entre os pontos estudados.

Por fim, o estudo analisou pontos específicos e não a região como um todo. Em futuras pesquisas, sugere-se o estudo de ruas completas ou de um raio de abrangência na coleta de temperaturas e sugestão de intervenções. O entorno influencia diretamente no ponto estudado, portanto, é ideal que se estenda a área de coleta de dados e intervenções.

É necessário, ainda, destacar a necessidade de estudos voltados para as espécies de vegetação adequadas ao paisagismo urbano, que cumpram os serviços ecossistêmicos adequados (incluindo a regulação de temperatura e umidade), bem como não interfiram, ou pouco interfiram, na estética das fachadas dos patrimônios tombados.

Espera-se que o presente trabalho contribua para o estudo de microclimas urbanos e para a compreensão de como a conformação urbana influencia nas temperaturas apresentadas.

Os resultados destacaram a importância da presença da vegetação em áreas de construção densa para regulação da temperatura. Acredita-se também que esse estudo possa servir como base para que futuras pesquisas e diretrizes urbanas que destaquem a presença de vegetação em centros urbanos.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, K. C. et al. **Praças de Juiz de Fora: catálogo de espaços públicos**, 2020. Juiz de Fora, MG: Editora UFJF / PROAC Publicações, 2021.

ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modeling attempts. **Theoretical and applied climatology**. Viena, 2006.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. São Paulo, 2000. 378p. Tese (Doutorado em Geografia) - FFLCH - USP.

AMORIM, M. C. C. T.; NETTO, J. L. S.; DUBREUIL, V. Estrutura Térmica Identificada por Transectos Móveis e Canal Termal do Landsat 7 em Cidade Tropical. **Revista de Geografia Norte Grande**, n.43, 65-80, 2009.

AMORIM, M. C. C. T.; DORIGON, L. P.; CARDOSO, R. S. Métodos e técnicas em climatologia urbana: abordagens para o estudo do campo térmico das cidades. **Ambiente construído e sustentabilidade**. Tupã-SP: ANAP, 2016.

ANDERSSON, Erik et al. **Reconnecting cities to the biosphere: Stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services**. *Ambio*, 2014.

ASSAD, E. D.; SUSIAN, C. M.; CORDEIRO, L. A.; EVANGELISTA, B. A. **Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados**. Capítulo 11, 2019.

ASSIS, D.C.; FERREIRA, C.C.M. Zoneamento térmico e suas correlações associadas aos padrões de uso e ocupação da terra da região urbana, centro em Juiz de Fora - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p. 554-573, 2018.

ASSIS, D. C. de. et al. **Mensuração de Ilhas de Calor em Juiz de Fora com Uso de Transecto Móvel**. Goiânia, 2016, p. 1553- 1564.

BARBOSA, et al. Patrimônio Histórico: Cine Teatro Central. **Congresso Internacional sobre Patologia e Preservação de Estruturas**. 2013.

BEZERRA, Marcus V.C.; SILVA, Bernardo B. da; BEZERRA, Bergson G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 709-717, 2011.

BONAMETTI, J. H. Paisagem Urbana: Bases e Conceitos Históricos. **Revista Terra e Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**. 2020.

BOTTYAN, Z.; KIRCSI, A.; SZEGEDI, S.; UNGER, J. The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. **International Journal of Climatology**. Viena, 2005.

BRANDÃO, A.M. de P.M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. São Paulo, 1996. 362p. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

BRANDÃO, A. M. P. M. **A ilha de calor de outono na cidade do Rio de Janeiro: configurações em situações sinóticas contrastantes**. Maringá: Universidade Estadual do Maringá, 2001.

BRASIL. Congresso Nacional. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei 1667/07**. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=360954>>. Acesso em mai. 2023.

BOYD, James; BANZHAF, Spencer. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecological Economics**, nº67, p. 616-626, 2007.

CARVALHO, P. M.; SANCHES, F.; VIANNA, Y.C.G.; OLIVEIRA, T.A.; FERREIRA, C.C.M. Comparação da temperatura do ar noturna entre centro e periferia: uma contribuição aos estudos sobre clima urbano em Juiz de Fora-MG. **Revista de Geografia**, v.12, n.2 – Edição Especial Climatologia, 2022.

CASSELS, V.; LOPEZ, M. J.; MELIÁ, J.; PEREZ CUEVA, A. J. **Analysis of the heat islands effect of the city of Valencia, Spain, through air temperature transects and NOAA satellite data**. Viena, 1991.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY - CBD. 2013. **Cities and Biodiversity Outlook: Action and Policy**. Disponível em: <<https://www.cbd.int/doc/health/cbo-action-policy-en.pdf>>. Acesso em mai. 2023.

COHEN, P.; POTCHTER, O.; MATZARAKIS, A. Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. **Building and Environment**, n. 51, p. 285-295. Munich, 2012.

CONFORTE, Daniel. **A Influência de Cânions Urbanos no Conforto Térmico: uma abordagem crono-morfológica**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2022.

CONSTANZA, Robert et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, nº387, p. 253-260, 1997.

COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Impact of increasing urban density on local climate: Spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 2007.

Department of Human Services. **January 2009 heatwave in Victoria: An assessment of health impacts.** (State of Victoria Report, pp. 24). Victorian Government Department of Human Services, Melbourne, 2009.

DHAINAUT, J. F.; CLAESSENS, Y. E.; GINSBURG, C.; RIOU, B. **Unprecedented heat-related deaths during the 2003 heat wave in Paris: Consequences on emergency departments.** Paris, 2003.

DUARTE et al. **The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate.** Urban Climate, Universidade de São Paulo: São Paulo, 2015.

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings.** London: Earthscan, 2011.

FARR, Douglas et al. **Urbanismo Sustentável: Desenho urbano com a natureza.** Chicago, 2013.

FERREIRA, C.C.M. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 10, v.14, 2014.

FERREIRA, C.C.M.; PIMENTEL, F.O.; VIANNA, Y.C.G. Proposta Metodológica Aplicada ao Estudo de Clima Urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 2023-2040, 2019.

FIALHO, E. S. **Análise temporoespacial do campo térmico na Ilha do Governador-RJ em situações sazonais de verão e inverno.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

FIALHO, E. S. Ilha de Calor: Reflexões Acerca de um Conceito. **Climatologia Geográfica**, 2012.

FIGG, J. W. **Methods of measuring the air and water permeability of concrete.** Magazine of Concrete Research, 1973.

FISHER, Brendan; TURNER, R. Kerry; MORLING, Paul. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, nº68, p. 643-653, 2009.

GABRIEL, K. M. A.; ENDLICHER, W. R. Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. **Environmental Pollution**, 2011.

GEDZELMAN, S. D. et al. **A mesoscale aspects of the urban heat island around New York City**. Viena, 2003.

Global Designing Cities Initiative. **Guia Global de Desenho de Ruas**. 2017.

GÓMEZ, A. L. **El clima de las ciudades españolas**. Madrid, 1993.

GOMÉZ-BAGGETHUN, Erik; BARTON, David N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. **Ecological Economics**, nº68, p. 235-245, 2013.

HERZOG, Cecília P. **Cidades para todos: (Re)aprendendo a conviver com a natureza**. Rio de Janeiro: Mauad e InVerde, 2013.

HSU, S. I. **Variation of an urban heat islands in Phoenix**. Professional Geographer, New York, 1984.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>>. Acesso em dez. 2022.

IMAÑA-ENCINAS, J.; DA SILVA, G.F.; PINTO, J.R.R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, v.7, n.1 Brasília, dez., 2005.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2023: Synthesis Report Summary for Policy Makers**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em mai. 2023. IPCC, 2023.

KIRBY, S. F.; SELLERS, W. D. Cold air drainage and urban heating in Tucson, Arizona. **Journal of the Arizona: Nevada Academy of Science**, 1987.

LANDSBERG, H. E.; MAISEL, T. N. Micrometeorological observations in an area of urban growth. **Boundary layer meteorology**. London, 1972.

LEE, D. **Urban warming? An analysis of recent trends in London's heat islands**. London, 1992.

LIU, S.; ZHAO, J.; XU, M.; AHMADIAN, E. Effects of landscape patterns on the summer microclimate and human comfort in urban squares in China. **Sustainable Cities and Society**. China, 2021.

MAGEE, N.; CURTIS, J.; WENDLER. **The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska**. Viena, 1999.

MARENGO, J. A; SOUZA JÚNIOR, C. **Mudanças Climáticas: Impactos e Cenários para a Amazônia**. Alana, 2018.

MARTINO, G. Desenhando Cidades Melhores. ArchDaily, 2022. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/983489/desenhando-cidades-melhores-como-escolher-o-piso-das-calcadas>>. Acesso em jan. 2024.

MARTINS, L. A. **A temperatura do ar em Juiz de Fora-MG**: Influências do sítio e da estrutura urbana. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 1996.

MAY, S.; OLIPHANT, A. **Characteristics of the Park Cool Island in Golden Gate Park, San Francisco**. Theoretical and Applied Climatology, 2023.

MÉNDEZ, C. C. M. Diferencias térmicas en la ciudad de Toluca, Mexico. In: America Latina e Simpósio Mexicano-Polaco. **Anais...** Toluca, 1993.

MÉNDEZ, C. C. M.; URIBE, D. M.; BECERRIL, L. A. G. **Isla de calor en Toluca, Mexico**. Toluca, 2008.

MENDONÇA, F. A. **O Clima e o Planejamento Urbano de Cidades de Porte Médio e Pequeno**: Proposições metodológicas para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. Tese de Doutorado em Geografia Física. Departamento de Geografia/USP. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

MENOTTI-VIANA et al. Estudo de ilhas de calor em Presidente Prudente/SP a partir de transectos móveis. **Presidente Prudente**, v.2, n.11, p. 35 – 62, 2004.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT - MA. **Ecosystems and Human well-being: a framework for assessment**. Island Press. Washington, 2005.

MONTEIRO, Ana. **O clima urbano do Porto**: contribuição para a definição das estratégias de planejamento e ordenamento do território. Fundação Calouste Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, 1997. 485p.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

MONTEIRO, Mônica dos Santos. **Serviços ecossistêmicos e planejamento urbano: a natureza a favor do desenvolvimento sustentável das cidades.** Curitiba, 2018.

MORATORI, D. A. **Centro Cultural Bernardo Mascarenhas: Reabilitação, desenvolvimento sustentável e educação patrimonial.** Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 73-87, jul./set. 2016.

NORTON, B. A.; et al. **Planning for cooler cities: A framework to prioritize green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes.** *Landscape and Urban Planning*, n. 134, p. 127-138. Australia, 2015.

OKE, T. **City Size and Urban Heat Island.** New York, 1973.

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

OKE, T. **Thermal remote sensing of urban climates.** Remote sensing of environment. New York, 2003.

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

OLIPHANT, A. J.; SPRONKEN-SMITH, R. A.; STURMAN, A. P.; OWENS, I. F. Spatial variability of surface radiation fluxes in mountainous Terrain. **Journal of applied meteorology.** New York, 2003.

OLIVEIRA, D.E; ASSIS, D.C.; ALVES, R.A.; PIMENTEL, F.O; FERREIRA, C.C.M. Presence of Buildings and their Influence on Patterns of Urban Microclimates, a Case Study in the City of Juiz de Fora, Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 470-488, 2019.

PAULA, D. C. J. **Análise termohigrométrica pós intervenções urbanas em Cuiabá - MT.** 2017. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas). **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.** Sumário Executivo GT1, Rio de Janeiro, 2013.

PELLEGRINO, Paulo. **Estratégias para uma infraestrutura verde**. 2017.

PERIN, Aryston Luiz. **Desenvolvimento de um equipamento para medição de emissividade**. Orientador: Prof. Dr. Arno Krenzinger. 2009. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos**. Estudo de caso em Campinas, SP. 2007. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PIMENTEL, F. O.; FERREIRA, C. C. M. Clima Urbano: O uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 49-66, 2019.

PITTON, S.E.C. **As cidades como indicadores de alterações térmicas São Paulo**. 1997. 272p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

PROGRAMA DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ASSENTAMENTOS HUMANOS - ONU HABITAT. 2011. **Cities and Climate Change: Policy Directions**. Global Report on Human Settlements 2011. Disponível em: <<https://unhabitat.org/global-report-on-human-settlements-2011-cities-and-climate-change>>. Acesso em jun 2023.

RAHMAN, M. A.; et al. Vertical air temperature gradients under the shade of two contrasting urban tree species during different types of summer days. **Science of the Total Environment**, n. 633, p. 100-111. Alemanha, 2018.

RAJKOVICH, N.; LARSEN, L. **A Bicycle-Based Field Measurement System for the Study of Thermal Exposure in Cuyahoga County, Ohio, USA**. Environmental Research and Public Health, 2016.

REVICH, B. **Heat-wave, air quality and mortality in European Russia in summer 2010: Preliminary assessment**. Yekologiya Cheloveka/Human Ecology, 7, 3–9. 2011.

RIBEIRO, A. G. As Escalas do Clima. **Boletim de Geografia Teorética**, vol. 23, n. 45-46, p. 288-294, 1993.

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y. C.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. Tokyo: **Journal of environmental sciences**, 2008

RODRIGUEZ, L.; et al. **Analyzing the urban heat Island: Comprehensive methodology for data gathering and optimal design of mobile transects.** Sustainable Cities and Society, 2020.

ROGERS, Richard; GUMUCHDJIAN, Philip. **Cidades para um pequeno planeta.** São Paulo: Gustavo Gill, 2013.

ROTH, M. Review of urban climate research in (sub)tropical regions. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 14, p. 1859–1873, 2007.

SANCHES, F.; SANTOS, E.F.; FERREIRA, R.V; FIRMINO, G.V.; ALVES, M.O. Contribuição ao estudo do clima urbano em Uberaba (MG). **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, 2018.

SANTOS et al. **Estimativa da Capacidade Calorífica de Óleos Lubrificantes Automotivos por DSC.** In: III Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás. Campina Grande, 2004.

SANTOS, A. B. **Mapeamento termohigrométrico do município de Coari - AM.** 2017. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso – Cuiabá, 2017.

SPRONKEN-SMITH, R. A. **Energetics and cooling in urban parks.** Tese de Ph.D. The University of British Columbia: Vancouver, 1994.

SPRONKEN-SMITH, R. A.; OKE, T. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. **International Journal of Remote Sensing.** 1998.

STEFFES, A. C.; PICCOLO, M. C.; GONZÁLEZ, J. H.; NAVARRETE, G. La isla de calor estival em Temuco, Chile. **Papeles de geografia.** Murcia, 2001.

STEWERT, I. D; OKE, T. **Classifying urban climate field sites by “Local Climate Zones”.** The Seventh International Conference on Urban Climate. University of British Columbia, 2009.

THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY - TEEB (2010). **The economics of ecosystems and biodiversity - mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.** Disponível em: <<https://teebweb.org/publications/teeb-for/synthesis/>> . Acesso em jun. 2023.

UNEP - Programa da Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 2013. **EBA Guidance: Moving from Principles to Practice.** Disponível em:

<https://www.iucn.org/sites/default/files/2022-07/feba_eba_qualification_and_quality_criteria_final_en.pdf>. Acesso em jun. 2023.

VALIN, M. O.; SANTOS, F. M. M. Levantamento Bibliográfico da Utilização de Transectos em Pesquisas de Clima Urbano no Brasil e Recomendações de Padronização nos Procedimentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 26, 2020.

VIANNA, Y. C. G. **Modelagem e Identificação de Ilhas de Calor em Ubá - MG**. Juiz de Fora: Universidade Federa de Juiz de Fora, 2018.

VIANNA, Y. C. G.; SANCHES, F.; FERREIRA, C. C. M. Estudo sobre a dimensão do raio da área de origem térmica para a medições da temperatura do ar urbano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 834-857, 2023.

VIANNA, Y. C. G.; PIMENTEL, F. de O.; FERREIRA, C. de C. M. Modelagem e Identificação de campos térmicos em Ubá – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. I.], v. 26, 2021.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. **Compete Urban Surface Temperatures**. New York: Journal of Applied Meteorology, 1997.

WHITMAN, S.; GOOD, G.; DONOGHUE, E. R.; BENBOW, N.; SHOU, W.; MOU, S. Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave. **American Journal of Public Health**, 87(9), 1515–1518. Chicago, 1997.

WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. 2015. **Global Risks 2015**. Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/global-risks-2015/>>. Acesso em mai. 2023.

WRI Brasil. **Ruas Completas no Brasil: Promovendo uma mudança de Paradigma**. 2017.