

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**  
**CEATEC – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS,**  
**AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIA**  
**MESTRADO EM SISTEMA DE INFRAESTRUTURA**  
**URBANA**

**MILENA PENNA POLONI**

**INFLUÊNCIA DO ALBEDO EM ÁREA URBANA DE**  
**ALTA DENSIDADE: ESTUDO DE CASO**

**CAMPINAS**

**2021**

**MILENA PENNA POLONI**

**INFLUÊNCIA DO ALBEDO EM ÁREA URBANA DE ALTA  
DENSIDADE: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Sistemas de Infraestrutura Urbana, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Área de Concentração: Sistema de Infraestrutura Urbana

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Cotrim Pezzuto.

**PUC - CAMPINAS**

**2021**

Ficha catalográfica elaborada por Fabiana Rizziolli Pires CRB 8/6920  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

551.66  
P778i

Poloni, Milena Penna

Influência do albedo em área urbana de alta densidade: estudo de caso / Milena Penna Poloni. - Campinas: PUC-Campinas, 2021.

58 f.: il.

Orientador: Cláudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Ilha de calor urbana. 2. Conforto térmico. 3. Albedo. I. Pezzuto, Cláudia Cotrim. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

CDD - 22. ed. 551.66

**MILENA PENNA POLONI**

**INFLUÊNCIA DO ALBEDO EM ÁREA URBANA DE ALTA DENSIDADE: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.  
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.  
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Cláudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação defendida e aprovada em 22 de fevereiro de 2021 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



---

Profa. Dra. Cláudia Cotrim Pezzuto  
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Profa. Dra. Paula Särdeiro Vanderlei  
Universidade Estadual de Maringá - UEM

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus, que em sua infinita sabedoria colocou força em meu coração para vencer esta etapa de minha vida; proporcionando oportunidades para o desenvolvimento.

À Edilene, minha mãe, pelo incentivo, apoio, ajuda e carinho em todos os momentos. Pelo exemplo de garra e determinação que demonstra a cada dia. Com ela, as aflições se tornam invisíveis.

Ao meu irmão, Matheus, por estar ao meu lado, me dando forças em todas as horas. Com seu jeito carinhoso, me ajudou a superar os momentos intensos deixando-os mais leve.

Em memória, ao meu avô Edmur, agradeço por todo amor, apoio e cuidado comigo desde pequena. Agradeço aos ensinamentos e oportunidade de ser sua neta.

À Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Cotrim Pezzuto, por toda a dedicação, empenho e suporte ao longo do desenvolvido do projeto.

À Reitoria da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) – pela bolsa de estudos concedida (Código de Financiamento 001).

A todos os meus amigos, Guilherme e Jô, que estiveram na jornada da minha Pós-Graduação.

## RESUMO

POLONI, Milena Penna. Influência do Albedo em Área Urbana de Alta Densidade: Estudo de Caso 2021. 58 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Infraestrutura Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Sistema de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

A elevação da temperatura dos centros urbanos tem consequências energéticas, ambientais e sociais; ao mesmo tempo em que deteriora a qualidade de vida dos cidadãos. Diversas estratégias são utilizadas para mitigar o aquecimento, dentre as principais se destacam, uso de técnicas e tecnologias verdes e o uso de materiais reflexivos. Neste contexto, este trabalho visa avaliar se os materiais reflexivos de superfícies urbanas horizontais, contribuem para o conforto térmico do pedestre e para a redução da temperatura do ar urbana. A área de estudo localiza-se na região central da cidade de Campinas-SP, área predominantemente de alta densidade e ausência de vegetação. Para as análises foram realizadas simulações computacionais utilizando o software ENVI-met 4.4.5 Summer 20. Os cenários contemplaram variações do albedo nas superfícies horizontais, abrangendo cobertura e pavimentação. As alterações ocorreram a cada 0,30 do albedo no intervalo de 0,30 a 0,90, totalizando sete cenários de estudos. A maior variação ocorreu no horário da temperatura máxima, no cenário onde a refletância apresentou 0,90 nas duas superfícies horizontais. Desta forma, conclui-se que as construções restringem a quantidade de radiação solar incidida no cânion urbano, devido suas características geométricas e morfológicas; tais como relação H/W, fator de visão do céu. Como consequência a estratégia de variação do albedo dos materiais, não impactou na temperatura do ar e consequentemente no conforto do pedestre.

**Palavras chave:** albedo, materiais reflexivos, telhados frios, ilha de calor urbana, potencial de mitigação, estratégias de mitigação.

## ABSTRACT

POLONI, Milena Penna. Influence of Albedo in a High Density Urban Area: Case Study. 2021. 58f. Dissertation (Master in Urban Infrastructure Systems) – Postgraduate Program in Urban Infrastructure System, Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas, 2021

The rise in temperature in urban centers has energetic, environmental and social consequences; while it deteriorates the quality of life of citizens. Several strategies are used to mitigate the heating, among the main ones stand out, use of green techniques and technologies and the use of reflective materials. In this context, this work aims to assess whether the reflective materials of horizontal urban surfaces contribute to the thermal comfort of the pedestrian and to the reduction of the urban air temperature. The study area is located in the central region of the city of Campinas-SP, a predominantly high density area with no vegetation. For the analyzes, computer simulations were performed using the ENVI-met 4.4.5 Summer 20 software. The scenarios included variations of the albedo on the horizontal surfaces, covering coverage and paving. The albedo changes occurred every 0.30 in the range of 0.30 to 0.90, totaling seven study scenarios. The greatest variation occurred at the time of maximum temperature, in the scenario where the reflectance showed 0.90 on the two horizontal surfaces. Thus, it is concluded that the constraints restrict the amount of solar radiation in the urban canyon, due to its geometric and morphological characteristics; such as H / W ratio, sky view factor. As a consequence, the strategy of variation of the albedo of the materials did not impact the air temperature and, consequently, the pedestrian comfort.

**Keywords:** albedo, reflective materials, cold roofs, urban heat island, mitigation potential, mitigation strategies.

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Intervalo do albedo nas diferentes superfícies urbanas.....	20
<b>Figura 2:</b> Geometria Cânion Urbano .....	23
<b>Figura 3:</b> Fluxograma das etapas de metodologia .....	26
<b>Figura 4:</b> Variação Média Anual da Temperatura de Campinas - 1990 a 2019 .....	27
<b>Figura 5:</b> Localização da área de estudo no município de Campinas.....	28
<b>Figura 6:</b> Localização do ponto de coleta na região da cidade de Campinas – SP ....	29
<b>Figura 7:</b> Cânion urbano de estudo localizado na rua Antônio Cesarino, Cambuí - Campinas - SP.....	30
<b>Figura 8:</b> Pontos de coleta em cada cânion para o cálculo do fator de visão do céu..	31
<b>Figura 9:</b> Localização ponto de coleta de estudo .....	32
<b>Figura 10:</b> Equipamento para medições in loco .....	32
<b>Figura 11:</b> Visão em perspectiva do modelo de estudo no ENVI-met.....	34
<b>Figura 12:</b> Localização dos receptores dentro da área de estudo .....	36
<b>Figura 13:</b> Regressão Linear da curva da temperatura do ar .....	37
<b>Figura 14:</b> Regressão Linear da curva da umidade relativa .....	37
<b>Figura 15:</b> Variação da temperatura no período de verão, no Ponto de coleta (P1) e Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) .....	40
<b>Figura 16:</b> Pontos de Estudo <b>A:</b> Ponto 1, área central; <b>B:</b> Ponto IAC.....	42
<b>Figura 17:</b> Caracterização dos raios de abrangência do estudo (200m). Pontos de estudo.....	42
<b>Figura 18:</b> Temperatura do ar em função do tempo. Pontos de estudo.....	43
<b>Figura 19:</b> Temperatura do ar em função do tempo. Médias horárias dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão. ....	45
<b>Figura 20:</b> Temperatura Radiante Média em função do tempo. Médias horárias dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão. ....	45
<b>Figura 21:</b> Temperatura do ar às 15 horas. Valores médios dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão. ....	47
<b>Figura 22:</b> Temperatura Radiante Média 15 horas. Valores médios dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão.....	48
<b>Figura 23:</b> Variação do índice PET dentro do cânion de estudo, durante um dia. Valores médios dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão.....	49

# ÍNDICE DE TABELA

<b>Tabela 1:</b> Dados Climáticos médios de Campinas no período de 1990 a 2019 .....	28
<b>Tabela 2:</b> Caracterização dos Cânions de estudo: foto aérea, fator de visão do céu (FVC), razão altura e largura (H/W) e orientação.....	31
<b>Tabela 3:</b> Parâmetros dos dados de entrada no ENVI-met 4.4.5 Summer 20 .....	35
<b>Tabela 4:</b> Caracterização dos cenários de estudo.....	38
<b>Tabela 5:</b> Calibração do índice PET proposta Monteiro e Alucci (2010) para a cidade de São Paulo.....	39
<b>Tabela 6:</b> Valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, no período de verão. Ponto de coleta (P1) e Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) .....	41
<b>Tabela 7:</b> Caracterização das áreas permeáveis, impermeáveis e edificadas. Pontos de coleta.....	42
<b>Tabela 8:</b> Valores de temperatura do ar mínima e máxima, amplitude térmica, diferença térmica ( $\Delta T$ °C ). Pontos de Estudo no período de verão .....	43
<b>Tabela 9:</b> Valores Médios de Temperatura do ar, Umidade Relativa, Temperatura Radiante Média. Média, mínima e máxima. Cenários de estudo. Período de Verão. ..	44
<b>Tabela 10:</b> Valores médios do índice PET dentro do cânion de estudo, durante um dia. Valores médio dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão .....	50

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	11
<b>1.1. Objetivo</b> .....	12
<b>1.2. Objetivo específico</b> .....	12
<b>1.3. Estruturação da dissertação</b> .....	13
<b>1.4. Justificativa</b> .....	13
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	14
<b>2.1 Urbanização e os impactos climáticos</b> .....	14
<b>2.2 Estratégias de mitigação do aquecimento urbano</b> .....	15
<b>2.2.1 O impacto dos materiais de superfícies urbanas</b> .....	16
<b>2.2.2 Influência das áreas verdes urbanas</b> .....	20
<b>2.2.3 Impacto dos aspectos morfológicos</b> .....	22
<b>2.2.4 Conforto Térmico na Escala Urbana</b> .....	24
<b>2.2.5 Simulação Computacional e Análises Urbanas</b> .....	25
<b>3. Metodologia</b> .....	26
<b>3.1 Caracterização da Área de Estudo</b> .....	27
<b>3.2 Caracterização dos pontos de coleta</b> .....	29
<b>3.3 Coleta de dados climáticos</b> .....	31
<b>3.4 Simulação computacional no Envi-Met</b> .....	33
<b>3.4.1 Dados de entrada e modelo no ENVI-met</b> .....	33
<b>3.4.2 Calibração ENVI-met</b> .....	36
<b>3.4.3 Cenários de Simulação</b> .....	37
<b>3.5 Critérios para cálculo do PET</b> .....	38
<b>4. Resultados</b> .....	40
<b>4.1 Análise climática do período de verão</b> .....	40
<b>4.2 Avaliação da temperatura do ar nos cenários de estudo</b> .....	43
<b>5. Considerações finais</b> .....	51
<b>6. Referência Bibliográfica</b> .....	52

## 1. Introdução

Devido a crescente urbanização nos últimos anos, as cidades crescem de forma desordenada e sem planejamento. No entanto, estudos já validados indicam que os materiais utilizados nas superfícies urbanas interferem significativamente na temperatura do ar e no conforto térmico da população, seja em ambientes externos ou interno. As alterações climáticas é uma preocupação que aumenta progressivamente, devido aos impactos ambientais e sociais que podem ser gerados. Essas variações têm contribuído para a ilha de calor urbana. Este fenômeno é definido por Oke (1988) como a elevada temperatura nos centros urbanos quando comparada as áreas rurais. Ressalta-se a importância de estudar o potencial das estratégias de mitigação do aquecimento urbano afim de minimizar os impactos do aquecimento urbano.(MORINI et al., 2018).

Muitos estudos têm relatado o impacto da ilha de calor no consumo de energia (KUMARI et al., 2021; SANTAMOURIS et al., 2015) e qualidade do ar (LI et al., 2020; SABRIN et al., 2020). As condições climáticas e sensação térmica também estão relacionadas com o efeito na saúde após condições térmicas extremas (PANTAVOU et al., 2011).

O conforto térmico do pedestre é um fator relevante, que também tem sido relacionado com a presença e ausência de vegetação, geometria urbana, e características dos materiais de superfícies urbanas (KRÜGER; GONZALEZ, 2016; LOBACCARO; ACERO, 2015; MUNIZ-GAAL et al., 2020; TALEGHANI, 2018b).

As estratégias de mitigação, demonstram a importância das condições climáticas para controlar as sensações acarretadas pelo clima, favorecendo um ambiente sustentável (KIM; GU; KIM, 2018). As estratégias são aplicadas para reduzir as temperaturas locais. Dentre as mais utilizadas, destacam-se as alterações das superfícies com materiais reflexivos e o aumento da porcentagem de área verde, para obter maior resfriamento em curto intervalo de tempo (ALCHAPAR et al., 2017; JAIN et al., 2019; TALEGHANI, 2018a).

O aumento do albedo médio das superfícies urbanas, é uma estratégia que vem sendo potencialmente utilizado e é baseada na utilização de materiais

reflexivos em superfícies como telhados, paredes e pavimentos. As tecnologias verdes e a tecnologia do uso da água, também contribuem para a melhoria climática e mitigação dos efeitos da ilha de calor urbana (MORINI et al., 2018; SANTAMOURIS et al., 2017).

Dentro deste contexto este projeto é inserido com o objetivo de investigar a influência dos materiais reflexivos na temperatura do ar e no conforto térmico do pedestre.

## **1.1 Objetivo**

Este estudo tem o objetivo de verificar se a utilização de materiais reflexivos nas superfícies horizontais (pavimentação e telhado) contribuem para o conforto térmico do pedestre e para a redução da temperatura do ar no meio urbano.

## **1.2 Objetivo específico**

- Identificar o potencial da aplicação dos materiais reflexivos em superfícies urbanas horizontais, a fim de verificar a influência na variação da temperatura.
- Avaliar o conforto térmico do pedestre com o uso dos materiais reflexivos.
- Avaliar através de simulação computacional a eficiência de estratégias de mitigação do aquecimento urbano para melhorias do ambiente térmico.

### **1.3 Estruturação da dissertação**

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, sendo o primeiro a introdução. O capítulo 2, apresenta a revisão bibliográfica, onde descreve sobre os problemas causados devido à urbanização e os impactos climáticos. Neste contexto, também engloba os efeitos do aquecimento urbano juntamente com as estratégias de mitigação estudadas anteriormente e comprovadas cientificamente apontando seus benefícios para o meio urbano. Este tópico é concluído com os fatores que influenciam o conforto térmico, destacando o índice PET (Physiological Equivalent Temperature) para estimar o mesmo no nível do pedestre. O terceiro capítulo, inclui a metodologia desenvolvida, subdividida em itens, tais como: área de estudo, caracterizando o clima da região bem como o ponto de coleta; dados climáticos através do monitoramento em campo e etapas desenvolvidas na simulação computacional com o ENVI-met. Já o quarto capítulo, indica os resultados das simulações, avaliação das diferenças térmicas e análise climática do verão. Para finalizar, o capítulo cinco, apresenta as considerações finais decorrente dos resultados da pesquisa.

### **1.4 Justificativa**

O conforto térmico do pedestre sofre influência do microclima local. As características morfológicas e as propriedades térmicas dos materiais interferem de maneira significativa na temperatura do ar urbana. Entre as estratégias utilizadas para mitigar o aquecimento urbano, destaca-se o uso de materiais reflexivos, o estudo dos parâmetros morfológicos e a utilização de infraestrutura verde. Desta maneira, é possível quantificar e analisar a influência dessas estratégias na melhoria do conforto térmico e na diminuição da temperatura do ar, proporcionando melhor qualidade de vida aos cidadãos.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Urbanização e os impactos climáticos

Nos centros urbanos, a urbanização cresce a cada ano. Do ponto de vista econômico, gera empregos à população, intensificando o fluxo migratório visando um desenvolvimento acelerado. O relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change), realiza o estudo das mudanças climáticas, visando o resultado das condições do microclima a longo prazo. As principais variáveis investigadas consistem no aumento da vegetação, condições da seca, do solo e aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. Os efeitos antropogênicos ocasionam maior intensidade de inundações, aumento da ocorrência de chuva, intensidade de seca, aumento do nível do mar e poluição atmosférica. A intensa urbanização e as atividades antropogênicas são acarretadas pelo intenso desmatamento e mudanças significativas na temperatura do meio (IPCC, 2014; IPCC 2019).

A urbanização altera as características morfológicas e estruturais tanto na zona urbana quanto na zona rural. Diversos aspectos sofrem modificações: alteração na paisagem e na cobertura das superfícies urbanas; aumento da densidade populacional; mobilidade urbana; atividades econômicas; geração de lixo, entre outros (AHMED et al., 2020; ANTROP, 2004; SILVA; SILVA; COSTA, 2011). Além disso influenciam diretamente nos parâmetros climáticos locais, dentre eles a temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação e evaporação (MAHESHWARI et al., 2020).

Tal processo tende a aumentar as temperaturas do ar nos centros das cidades em comparação com as áreas rurais ou suburbanas circundantes. Este fenômeno é chamado ilha de calor urbana (ICU) e está relacionado principalmente pela alta densidade de edifícios e estrutura urbana (OKE, 2006). Diversos estudos tem abordado o tema e relatado suas características (MIRZAEI; HAGHIGHAT, 2010; STEWART, 2007, 2019).

Um problema muito preocupante é a modificação da cobertura do solo, influenciado pela interferência humana, acarretando as mudanças climáticas,

decorrente do cenário urbano, aumentando a temperatura do ar e ressaltando os efeitos do fenômeno da ICU. Estudos de Morini et al. (2018) afirmam que o aumento do albedo urbano é uma estratégia promissora na mitigação dos efeitos da ilha de calor urbana.

O aumento da presença de edificações e materiais de construção comparada à quantidade de área verde, é uma modificação significativa associada diretamente à urbanização, alterando as características térmicas das superfícies das cidades. As superfícies impermeáveis possuem alta capacidade de absorver e re-irradiar calor decorrente do aumento da temperatura do ambiente ocasionado pelo desenvolvimento da urbanização, permitindo a formação de ilhas de calor (BRANCO; ROMERO, 2009).

Estudos de Vargas et al. (2020) na região metropolitana da cidade do México destacam que, as áreas urbanizadas apresentaram aumentos significativos na ordem de 3 a 4 ° C durante os últimos cem anos, tanto nas temperaturas máximas quanto nas mínimas. O estudo também relatou uma mudança no regime de precipitação, relatando um aumento de aproximadamente 40% durante o último século. Em países de baixa renda, a vulnerabilidade da população é maior, decorrente da extensão de desmatamento ocasionando maiores áreas de alto risco e territórios mais propensos à inundações (POUCOS R, 2006).

Shahmohamadi et al (2011) destacam três estratégias para mitigar os impactos da ilha de calor urbana na saúde humana: redução da poluição do ar, adquirindo transporte adequado lançando menor quantidade de gases poluentes; paisagens planejadas para moderação das temperaturas elevadas e aumentar o albedo dos materiais de construção, que será estudado na pesquisa.

## **2.2 Estratégias de mitigação do aquecimento urbano**

Estratégias de mitigação são aplicadas no intuito de estudar o comportamento das condições climáticas e analisar os benefícios, a partir de alterações das configurações morfológicas. As estratégias com maiores fundamentos e comprovadas por diversos pesquisadores são: implantação e

preservação de áreas verdes, alterações nas características geométricas do cânion urbano (relação altura/largura (H/W), comprimento/altura (L/H), acesso solar, orientação da via) e variações nas propriedades dos materiais de superfícies. As características mais usuais abrangem variações do albedo nas coberturas, pavimentos e fachadas (ALCHAPAR et al., 2017; MORINI et al., 2018; TALEGHANI, 2018a). Santamouris et al. (2017) também relatam tipos de tecnologias para mitigar o aquecimento urbano, entre elas: uso de materiais reflexivos nas superfícies urbanas; uso de água para evaporação e utilização de vegetação.

Radhi et al. (2013) avaliam como o comportamento térmico de novas áreas urbanas é afetado pelos elementos urbanos. Os resultados demonstram que as temperaturas médias do ar aumentam na faixa de 2°C a 5°C. Esta magnitude da ICU é principalmente afetada pela atividade urbana, tais como processos de construções em andamento, redução das áreas verdes, entre outros. Estudos relatam que o processo de urbanização afeta parâmetros climáticos locais, como valores de temperatura do ar máxima, temperatura do ar mínima, precipitação e evaporação. Dependendo do contexto estes parâmetros podem diminuir ou aumentar (MAHESHWARI et al., 2020).

Os usos de tecnologias verdes também auxiliam na melhoria do ambiente térmico, além de minimizar os impactos do aumento da temperatura decorrente da ilha de calor urbana. (BOWLER et al., 2010; TEIXEIRA, 2021). Os telhados verdes também tem sido uma tecnologia utilizada para lidar com as questões climáticas e os problemas ambientais urbanos (GANGULY; CHOWDHURY; NEOGI, 2015).

### **2.2.1 O impacto dos materiais de superfícies urbanas**

O meio urbano sofre influência de diversas superfícies, causando na maioria das vezes um desequilíbrio térmico. Ressaltando características relevantes com maior atribuição, salienta os diferentes revestimentos utilizados em coberturas, pavimentações e fachadas. Dependendo do material, o número de superfícies reflexivas aumenta ocasionando reflexões múltiplas entre as

edificações. Desta maneira, o armazenamento de calor dentro do cânion urbano é alterado (ALCOFORADO et al., 2005).

Estudos relatam que o equilíbrio térmico dos materiais é determinado pela refletância e emissividade à radiação solar de ondas longas durante o dia (DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004). Outros estudos demonstram que o uso de materiais frios ou reflexivos (materiais de alta refletância solar e alta emissividade na região infravermelha do espectro solar), contribuem para aumentar o albedo urbano e é uma técnica promissora na mitigação do aquecimento urbano (SANTAMOURIS et al., 2017; SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011). Os materiais reflexivos podem ser utilizados tanto no envelope dos edifícios, fachadas e coberturas, quanto no espaço urbano das cidades (pavimentação por exemplo). O albedo ou refletância é definido como sendo o quociente entre a taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre a mesma (ABNT 15220:1, 2005).

A refletância solar e emissividade são parâmetros que impactam no equilíbrio térmico das fachadas (ALONSO et al., 2017), assim como as cores também podem contribuir na absorção da radiação solar, afetando o aquecimento das superfícies dos edifícios (ALCHAPAR; CORREA; CANTÓN, 2012; CASTRO et al., 2003; DORNELLES, 2008).

Com relação aos pisos, Krüger e Gonzalez (2016) relatam que a aplicação de revestimento de piso com alto albedo impacta diretamente no conforto de pedestres. A implantação de pavimentos reflexivos também reduz os efeitos de intensidade da ilha de calor urbana; propiciando melhoria na qualidade climática da cidade (KYRIAKODIS; SANTAMOURIS, 2018).

Taleghani (2018) afirma que com alterações mínimas do albedo é possível observar melhoria nas condições climáticas. O estudo conclui que os materiais reflexivos auxiliam na diminuição do PET (Physiological Equivalent Temperature). Avaliando as vias públicas, o autor destaca que o asfalto possui grande capacidade de armazenamento de calor e libera o excesso apenas no resfriamento, entre final da tarde até o anoitecer.

Assim como os pavimentos, as superfícies dos telhados também sofrem superaquecimento, devido à elevação da temperatura e, uma solução é a

utilização de telhados frios, minimizando os efeitos de aquecimento no conforto térmico do ambiente, tanto externo quanto interno. No verão, estudos comprovaram que os telhados frios contribuem no resfriamento da temperatura, porém não somente na altura das coberturas dos edifícios, mas também nos ambientes internos (PISELLO; COTANA, 2014).

Li; Norford (2016) verificaram que a utilização de telhados frios apresentou efeitos positivos na redução da temperatura do ar próximo à superfície durante o dia, porém tal configuração apresentou pequenos impactos no período noturno. Neste sentido, Chong et al.(2018) relatam que durante o período de pico (das 9h às 17h), os telhados frios reduzem o ganho de calor em 8% e os telhados verdes mitigam consideravelmente menos, aproximadamente 0.4%. Durante um período de verão os telhados frios reduzem aproximadamente 37% e os verdes 31%. Mackey; Lee e Smith, (2012) também comprovam que os telhados reflexivos produzem um maior resfriamento que os telhados verdes, vias arborizadas e espaços verdes. O bom desempenho dos telhados reflexivos não significa que as estratégias baseadas na vegetação devem ser desconsideradas.

Ferreira e Prado, (2003) relatam que o albedo ou refletância solar dos telhados tendem diminuir ao longo dos anos devido à exposição de intempéries. O envelhecimento dos materiais expostos as condições das intempéries, tendem a diminuir a refletância solar dos materiais claros e aumentar a refletância dos materiais escuros. Bretz; Akbari, 1997 relatam que a mudança no albedo ao longo do tempo depende do próprio revestimento, da textura da superfície, da inclinação do telhado e das fontes próximas de sujeira e detritos. Alchapar; Correa e Cantón, (2012) ao avaliar materiais de superfícies urbanas horizontais e seu desempenho ao longo do tempo, verificaram que a propriedade óptica mais afetada foi o albedo. Dornelles et al. (2012) relatam a importância da limpeza periodicamente dos materiais de coberturas expostas ao intemperismo, uma vez que tal procedimento contribui no restabelecimento da refletância inicial após um longo período.

Alchapar; Correa; Cantón (2014) avaliam diferentes materiais comumente encontrados em superfícies horizontais e verticais urbanas na cidade de Mendoza, Argentina. Os resultados demonstraram que para os revestimentos

acrílicos, a cor é a variável mais importante para definição do seu comportamento térmico, entretanto, para o concreto, é o efeito combinado de cor e textura. Efeitos associados a textura e a cor influenciam revestimentos acrílicos melhorando a eficiência térmica em 60% em relação aos Índice de Refletância Solar (SRI). Diferentemente ocorre com revestimentos em concreto, onde diminui a possibilidade de redução da ilha de calor, variando o índice de refletância solar (SRI) de 40% a 60%. Em contrapartida, Santos et al. (2011) verificaram que a variação da rugosidade de dois tipos de amostras, cerâmicas sem acabamento superficial e lixas comercialmente vendidas com diferentes rugosidades, não interferiu de forma significativa nos resultados de refletância solar.

A maioria dos bancos de dados disponíveis são baseadas em estudos consolidados; realizados através de simulações usando modelagens em diferentes escalas, principalmente na mesoescala e os dados de valores numéricos são obtidos a partir de estudos experimentais (SANTAMOURIS, 2014). Desta maneira, para os estudos que avaliam a influência do albedo das superfícies na temperatura do ar, os trabalhos são baseados em intervalos para variar esta propriedade. A Figura 1, apresenta as diferenças da média do albedo em cada superfície realizada em estudos anteriormente (ASCIONE et al., 2018; LOPES, 2008; TALEGHANI, 2018b).

**Figura 1:** Intervalo do albedo nas diferentes superfícies urbanas



Fonte: Adaptado de EPA e Global Hydrology and Climate (2003)

## 2.2.2 Influência das áreas verdes urbanas

As áreas verdes possuem um papel fundamental no microclima urbano, proporcionando melhoria na qualidade ambiental e na qualidade de vida dos cidadãos (LIMA; AMORIM, 2006). Do mesmo modo, trabalhos afirmam que o tipo de vegetação também influencia de maneira distinta na contribuição da diminuição da temperatura; assim como o método para avaliação da vegetação no meio urbano e o período analisado (diurno ou noturno) (ALMEIDA; VASCONCELLOS, 2019; GOMES; AMORIM, 2003).

Dentre os parâmetros climáticos, tais como; umidade, temperatura do ar, temperatura média radiante, direção e velocidade do vento; o mais impactante sob o dossel da vegetação arbórea é a temperatura radiante média, que influencia diretamente no conforto térmico. As características do dossel e do solo tem grande influência na temperatura radiante média (SHINZATO; DUARTE, 2018). No entanto, Rocha et al. (2011) estudam a interação entre temperatura do ar e as características do ambiente urbano, e verificam que a presença da

vegetação e a permeabilidade do solo influenciam diretamente no calor noturno de forma a amenizar os efeitos de aquecimento urbano.

Son; Chen; Chen (2020) a partir de estudo realizado na cidade de San Salvador verificam que, as áreas localizadas no perímetro urbano com aglomeração de construções sejam elas residenciais, industriais ou regiões com ausência de cobertura vegetal, apresentam temperaturas mais elevadas. As localidades com temperaturas mais amenas e frias contemplam a presença de grande quantidade de vegetação e florestas densas.

A presença de vegetação, reduz a temperatura do ambiente e auxilia na dissipação do calor absorvido durante o período diurno, contribuindo no conforto térmico no nível do pedestre (LOBACCARO; ACERO, 2015). Assim é relevante a conservação de parques, praças e áreas de preservação ambiental e também a presença de telhados verdes, para mitigar os efeitos do aquecimento urbano e contribuir para a qualidade ambiental das cidades (BARROS; LOMBARDO, 2016; LI; NORFORD, 2016; NORO; LAZZARIN, 2015; MAHESHWARI, 2020, KIM; GU; KIM, 2018).

Nos últimos anos, a tecnologia das coberturas e paredes verdes vem se intensificando, mostrando a eficiência em seu uso, atuando de maneira satisfatória no fluxo de calor nas envoltórias e assim, reduzindo tanto as temperaturas no interior das edificações como contribuindo para amenização da temperatura do ar (MATHEUS et al., 2016).

Os estudos realizados por Faria e Mendes (2004) nas cidades de Bauru (Brasil) e Porto (Portugal), comprovam que a presença de vegetação exerce um papel fundamental no microclima urbano. O estudo constatou que na cidade de Bauru as regiões densamente construídas, apresentaram as maiores taxas de aquecimento e resfriamento. Em contrapartida, as áreas com presenças de vegetação apresentam temperatura mais amenas. Em ambas as cidades, as regiões centrais com baixa porcentagem de vegetação e presença de verticalização, apresentaram uma correlação do fator de visão do céu com a temperatura do ar. Em estudo realizado por Tong et al. (2017) na cidade de Tianjin- China, verificou que o efeito de resfriamento proporcionado pelas árvores, comporta-se de maneiras diferentes nas estações durante o ano;

evidenciando o melhor desempenho no verão durante o dia todo (período diurno e noturno). O efeito é reduzido no período de inverno, devido à redução do índice de área foliar e da evaporação.

### **2.2.3 Impacto dos aspectos morfológicos**

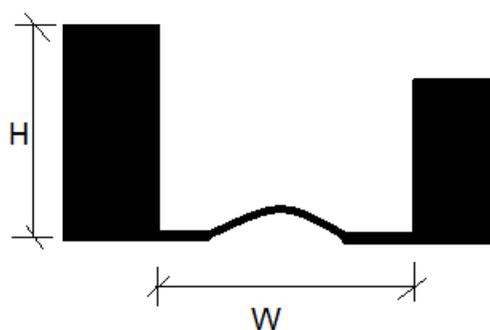
Estudos com os aspectos morfológicos, comprovam as relações da geometria urbana com o acesso solar e velocidade do vento nos cânions urbanos; influenciando no microclima local (ALCHAPAR et al., 2017; MUNIZ-GAAL, L. P.; PEZZUTO; CARVALHO, 2020) . A incidência da radiação interfere no aquecimento e resfriamento do cânion urbano, bem como no consumo energético das edificações (LAMARCA; QÜENSE; HENRÍQUEZ, 2018; MARTINS; ADOLPHE; BASTOS, 2014). Em estudo realizado em Shanghai, verificou-se correlações entre o efeito da ilha de calor urbana e diferentes tipologias urbanas. As edificações localizadas no centro das cidades apresentaram carga térmica de 1,5 a 5% inferior em relação a periferia (LIMA; ZANELLA, 2011; ZHOU et al., 2017).

O fator de visão do céu (FVC) é um parâmetro geométrico e adimensional, definido pela capacidade de caracterizar a geometria urbana através de estimativa da área visível do céu (JOHNSON; WATSON, 1984; MIDDEL et al., 2018; SOUZA et al., 2010). O FVC varia entre 0 e 1, onde 0 representa o céu completamente obstruído e 1 indica que não há obstrução. A metodologia mais utilizada para a avaliação do parâmetro do FVC, é desenvolvida a partir de fotografias, conhecidas como olho de peixe, que pode ser obtido tirando fotos do zênite com uma lente olho de peixe circular no nível do solo e assim resulta em dados conclusivos, confiáveis e rápidos (ZENG et al., 2018). Mensurando estes aspectos, facilita a investigação do comportamento das propriedades térmicas dos materiais existentes no cânion urbano.

Com o crescimento e mudanças no contexto urbano, a importância no planejamento da morfologia é primordial e deve ser adaptado ao clima da região. Na escala do pedestre, estudos indicam que o microclima dos cânions urbanos são afetados por diversos fatores, tais como: as superfícies dos materiais e da

envoltória da edificação, a orientação, relação altura e largura ( $H/W$ ) e vegetação (ALCHAPAR et al., 2017; LOBACCARO; ACERO, 2015; MARTINS; ADOLPHE; BASTOS, 2014). OKE (1988) define que a relação altura/ largura ( $H/W$ ) é definido como a altura média do cânion ( $H$ ) pela sua largura ( $W$ ). Neste contexto, a Figura 2 ilustra um cânion urbano, definido com uma configuração geométrica limitado por edifícios de ambos os lados, como em cânions naturais (ALI-TOUDERT; MAYER, 2007; OKE, 1988).

**Figura 2:** Geometria Cânion Urbano



Fonte: Adaptado de OKE (1988)

Amorim (2005) afirma que nas cidades é possível encontrar um conjunto de microclimas e que estas variações ocorrem, devido ao tipo de ocupação do solo e as características do relevo.

Ao qualificar e quantificar o impacto da forma urbana na demanda de energia dos edifícios, Martins; Bonhomme; Adolphe (2013) verificaram que a redução da demanda energética por metro quadrado dos edifícios, tem uma relação com a verticalidade e o adensamento do solo.

WAI et al. (2020) relatam que cânions urbanos com maior número de construções, destacam-se com temperaturas superiores entre 2° a 3°C em relação as demais configurações. Isso ocorre devido a porosidade e altura das edificações, pois comportam-se como fontes de calor. Em contrapartida, Allegrini; Dorer; Carmeliet (2015) relatam que as áreas com maior ventilação apresentam temperaturas menores de até 2°C em relação as áreas com pouca ventilação.

## 2.2.4 Conforto Térmico na Escala Urbana

Nos últimos anos, há um aumento de estudos sobre conforto térmico. Esta intensidade é ocasionada devido ao aumento das temperaturas e o cuidado em que se deve tomar com os espaços públicos frequentados pela população local. As variáveis comumente estudadas entre as pesquisas da área são: temperatura ao ar, temperatura radiante média e velocidade do vento. O cálculo estimado para o conforto varia muito do índice utilizado para desenvolvimento do estudo, no entanto, há necessidade de padronização de alguns aspectos, entre eles: instrumentos e métodos; questionários de sensações térmicas e utilização das variáveis, dependendo do índice selecionado para avaliação do conforto térmico (JOHANSSON et al., 2014).

O índice PET (Physiological Equivalent Temperature) é um dos mais conhecidos e utilizados para mensurar o conforto térmico em espaços abertos. Para o cálculo do índice, consideram-se diversas variáveis climáticas tais como; temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura radiante média; englobando as vestimentas e o metabolismo para estimar a sensação térmica (MAYER; HOPPE, 2014). Devido à diversidade climática nos quais os estudos de conforto térmico são conduzidos, pesquisas relatam a necessidade de calibração do índice para espaços urbanos abertos para adequação das preferências térmicas locais (KRÜGER et al., 2018; MONTEIRO; ALUCCI, 2010).

Monteiro e Alucci (2010) calibraram o índice PET para a cidade de São Paulo-SP e definiram a faixa entre 18°C e 26°C como intervalo confortável (neutro) na sensação térmica do pedestre. Em contrapartida, Krüger et al.(2018) realizaram a calibração de maneira minuciosa para a cidade de Curitiba-PR, dividindo em três métodos. O primeiro, realizou um agrupamento dos votos de percepção térmica a partir de entrevistados; no segundo, identificou as categorias mais frequentes (13°C e 25°C) e por último aplicou o método das curvas Probit.

Avaliando os parâmetros de conforto térmico associado com as configurações da geometria urbana, é perceptível que as alturas elevadas das edificações, a porcentagem de área sombreada e a orientação cardeal

contribuem significativamente no período de verão. Esta influência é notada pelas superfícies frias e o comportamento da temperatura, uma vez que os valores do PET diminuem, proporcionando maior conforto térmico no nível do pedestre. (MUNIZ-GÄAL et al., 2018).

Aprofundando os estudos do índice PET associado à aplicação de materiais reflexivos nas superfícies urbanas, evidenciam a redução da temperatura do ar por volta das 17hs. No entanto, esta aplicação não é eficaz no período entre às 6hs e 12 hs, devido ao aumento da temperatura radiante média (FARHADI; FAIZI; SANAIEIAN, 2019).

### **2.2.5 Simulação Computacional e Análises Urbanas**

Estudos realizados com simulações computacionais pelo software ENVI-met possibilitam reproduzir temperaturas urbanas com diferentes cenários, aplicando estratégias de mitigação do aquecimento. Os estudos avaliam a presença e ausência de vegetação, diferentes tipos de superfícies permeáveis e impermeáveis, diferentes tipos de cânions e alturas das edificações entre outros aspectos (ALCHAPAR et al., 2017; SHINZATO; DUARTE, 2018).

Shareef; Abu-Hijleh (2020) utilizam o mesmo programa para estudo da geometria urbana e realiza protótipos de variações na altura das edificações, no intuito de encontrar a melhor configuração para obter desempenho térmico satisfatório. Do mesmo modo, são avaliados o nível de resfriamento da temperatura do ar com o incremento da vegetação no período do verão (ALCHAPAR et al., 2017; TSOKA; TSIKALOUDAKI; THEODOSIOU, 2018).

### 3. Metodologia

No intuito de analisar as influências do meio urbano no conforto térmico do pedestre, a partir de simulação computacional no programa ENVI-met, realizou-se alterações nos materiais de superfícies urbanas, nos eixos horizontais: cobertura e pavimentação. Essa estratégia teve como objetivo avaliar o comportamento da temperatura do ar, verificando a relação da variação térmica e o conforto dos usuários, mitigando os efeitos do aquecimento urbano.

A pesquisa foi desenvolvida seguindo as etapas ilustradas na Figura 3. Inicialmente foi feito um estudo na área central da cidade de Campinas e a região selecionada apresenta alta densidade, contendo edifícios altos, grande concentração de construções e ausência de vegetação. Após a escolha do ponto de análise foi feito o levantamento físico do ponto de coleta através de visitas no local de estudo; realizando avaliação da escala horizontal, caracterização da geometria de construção e análise de foto aérea. Na segunda etapa, foi utilizado um monitoramento climático efetuado no ano de 2016. Este monitoramento foi realizado com medições in loco de temperatura do ar e umidade relativa. Em seguida, delimitou-se o recorte do estudo, necessário para as análises nas simulações computacionais no programa ENVI-met 4.4.5 Summer 20. Para os cenários, determinou-se o cenário base e cenários de estratégias, propondo variações do albedo nos materiais nas superfícies de cobertura e pavimentação.

**Figura 3:** Fluxograma das etapas de metodologia



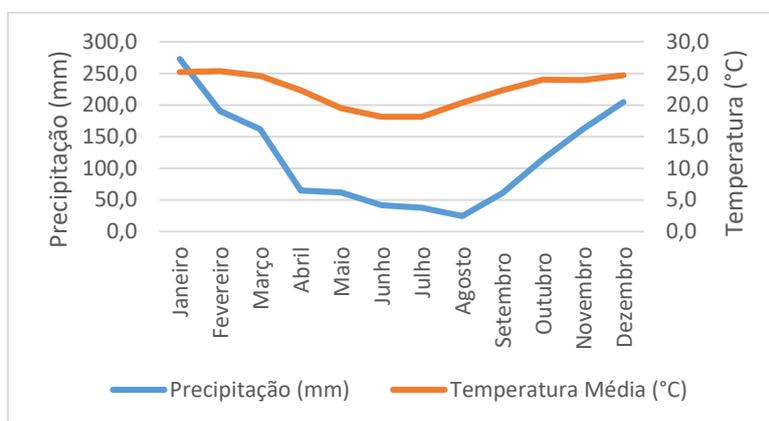
Fonte: a autora

### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa foi realizada no interior do estado de São Paulo, na cidade de Campinas; com uma área territorial de 794,571Km<sup>2</sup> e população estimada em 1.204.073, está localizada à S 22°53'20" e O 47°04'40" e altitude de 680 metros acima do nível do mar (CAMPINAS, 2020; IBGE, 2020).

O clima predominante em Campinas é tropical de altitude (Cwa), marcado com verão quente e úmido e inverno ameno e seco. Chuvas intensas ocorrem nos meses de dezembro e janeiro simultaneamente com as maiores temperaturas médias anuais, Figura 4. A temperatura média máxima é de 25,2°C e precipitação de 273 mm, ambas no mês de janeiro; em contrapartida a temperatura média mínima ocorreu em junho marcando 18,1°C. A Tabela 1 mostra as normais climatológicas dos anos de 1990 a 2019, a partir da estação meteorológica do CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura) (CEPAGRI, 2020).

**Figura 4:** Variação Média Anual da Temperatura de Campinas - 1990 a 2019



Fonte: adaptado de CEPAGRI 2020

**Tabela 1:** Dados Climáticos médios de Campinas no período de 1990 a 2019

Meses	Precipitação (mm)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Média (°C)
Janeiro	273,0	33,9	16,5	25,2
Fevereiro	190,5	33,8	16,9	25,4
Março	162	33	16,2	24,6
Abril	64,7	32	12,7	22,4
Maio	61,7	29,9	9,1	19,5
Junho	41,4	28,6	7,7	18,1
Julho	37,7	29,4	6,9	18,2
Agosto	24,1	32,1	8,6	20,4
Setembro	60,7	34,2	10,5	22,4
Outubro	114,2	34,9	13,1	24,0
Novembro	162,3	33,9	14	24,0
Dezembro	204,5	33,8	15,6	24,7

Fonte: adaptado de CEPAGRI 2020

Para o estudo, a área foi delimitada na parte central do município de Campinas, dotada de infraestrutura e localizada no bairro Cambuí. A Figura 5 mostra a área estudada dentro do município.

**Figura 5:** Localização da área de estudo no município de Campinas

Fonte: adaptado de Google Earth (2020)

### 3.2 Caracterização dos pontos de coleta

Para a pesquisa, foi realizado um recorte na cidade de Campinas para determinar a área de estudo. O ponto contemplado nas medições, localiza-se na parte central, especificamente no perímetro do bairro Cambuí (Figura 6). Na figura 6, identifica-se a área considerada da pesquisa (vermelho) e o ponto de coleta das medições realizadas em campo (amarelo). Para fins de caracterização, foi feito um raio a partir do ponto de coleta de 200 metros e a área total estudada contempla a dimensão de 222m x 222m.

**Figura 6:** Localização do ponto de coleta na região da cidade de Campinas – SP



Fonte: adaptado de Google Earth (2020)

O cânion urbano de estudo (Figura 7), está situado na rua Antônio Cesarino, no bairro Cambuí e apresenta características de predominância de edifícios altos com alturas médias de 44 metros, ausência de vegetação e área de uso misto, contemplando residências e comércios. O cânion encontra-se localizado na orientação noroeste.

**Figura 7:** Cânion urbano de estudo localizado na rua Antônio Cesarino, Cambuí - Campinas - SP



Fonte: Google Earth Street (2020)

Em relação aos revestimentos, a área apresenta pavimentação em paralelepípedo, as coberturas são compostas por telhas cerâmicas, metálicas e lajes de concreto. As calçadas possuem materiais em pedra, mais especificamente no modelo pedra portuguesa em toda extensão da área e as fachadas são revestidas por pinturas convencionais e pastilhas.

Embora haja comprovações que as áreas verdes influenciam no conforto térmico do ambiente urbano, optou-se por cânion sem a presença de vegetação. O objetivo principal é verificar a influência do albedo no comportamento climático dos cânions, sem a interferência da vegetação.

Para a caracterização do cânion urbano, também foi realizada a coleta do fator de visão do céu (FVC), utilizando a câmara Canon T5i com a lente olho de peixe. Foram delimitados 3 pontos de coletas na rua do cânion (meio do quarteirão e extremidades), conforme a Figura 8. O software Ray Man Pro 1.2 foi utilizado para o cálculo do FVC e posteriormente, foi adotado o valor médio do cânion. A Tabela 2 apresenta o detalhamento do cânion.

**Figura 8:** Pontos de coleta em cada cânion para o cálculo do fator de visão do céu



Fonte: Autora

**Tabela 2:** Caracterização dos Cânions de estudo: foto aérea, fator de visão do céu (FVC), razão altura e largura (H/W) e orientação

Imagem	Fator de céu	H/W	Orientação
 <p>Fonte: Adaptado Google Earth (2020)</p>	 <p>FVC=0,31</p>	4,4	Noroeste (NO)
Fonte: adaptado do Google Earth (2020)			

### 3.3 Coleta de dados climáticos

Para monitoramento climático foi instalado um sensor de temperatura e umidade relativa do ar dentro do cânion de estudo (Figura 9). O levantamento climático do ponto de coleta foi realizado na estação de verão, durante o período de 04 a 07 de janeiro de 2016. Para a coleta foi utilizado o instrumento TESTO 174H (Figura 10); instalado dentro de uma proteção contra intempéries (marca HOBO, modelo RS1), com altura de 3,5 metros. As medições nestas alturas

contemplam o monitoramento da Atmosfera Urbana Inferior (UrbanCanopyLayer – UCL). Oke (2006) relata que as variações de medições em alturas de 3 a 5 metros, em áreas urbanizadas, não apresentam variações significativas. A coleta foi registrada a cada 20 minutos de maneira contínua. Com o objetivo de comparar o ponto de coleta com uma estação de referência, foram consideradas para as análises os dados climáticos da Estação Meteorológica de Referência do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

**Figura 9:** Localização ponto de coleta de estudo



Fonte: Google Earth Street (2020)

**Figura 10:** Equipamento para medições in loco



a) Datalogger



b) Proteção de intempéries

### **3.4 Simulação computacional no Envi-Met**

O microclima do cânion de estudo foi simulado com o programa ENVI-met V4.4.5 Summer 20; que simula as interações entre as superfícies urbanas, vegetação e a atmosfera. O ENVI-met utiliza modelos numéricos, que ocorrem entre a atmosfera e as superfícies próximas ao solo e é um sistema de modelagem de microclima de alta resolução. O programa é capaz de simular interações em microescala entre superfícies urbanas, vegetação e atmosfera. (BRUSE; FLEER, 1998).

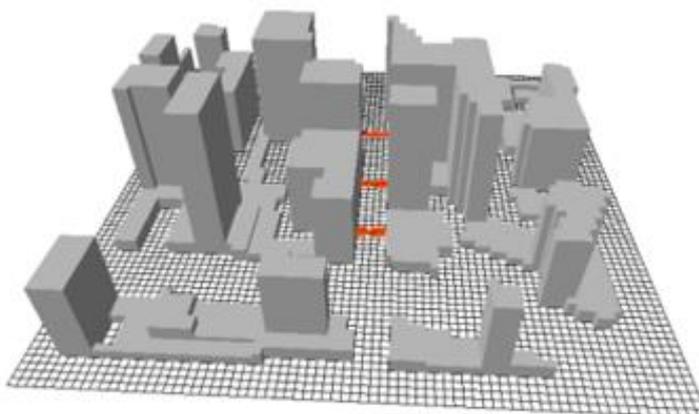
A interação destes modelos numéricos pelo ENVI-met possibilita a simulação de inúmeros parâmetros ambientais, dentre eles a temperatura e a umidade do ar no meio urbano, possibilitando o traçado de isopletas para a verificação das diferenças urbanas. Os dados de saída do programa, possibilitam realizar mapas ou gráficos, auxiliando o pesquisador analisar a interação entre os parâmetros físicos do ambiente construído com o microclima. Dessa forma, o programa constitui uma ferramenta no processo de desenho urbano, sendo útil na comparação de cenários, que contemplam variações na morfologia urbana, na tipologia construtiva, na densidade construtiva, na permeabilidade do solo e no índice de vegetação. O microclima urbano pode ainda ser relacionado ao conforto térmico do pedestre, visto que o programa também simula o índice Physiological Equivalent Temperature (PET).

#### **3.4.1 Dados de entrada e modelo no ENVI-met**

Para a realização da simulação computacional no programa ENVI-met são necessários dois tipos de dados de entrada: o modelo tridimensional; contemplando os edifícios, vegetação e caracterização dos materiais de superfícies e os dados climáticos de entrada.

A resolução do modelo no programa ENVI-met foi de 3 (dx) x 3 (dy) x 2 (dz) m. A área modelada foi de 222m x 222 m, totalizando uma grade de 74 x 74 x 90 grids (x, y, z). A Figura 11 mostra a modelagem em 3 dimensões no programa ENVI-met.

**Figura 11:** Visão em perspectiva do modelo de estudo no ENVI-met



Fonte: software Envi-Met

Para a realização da simulação computacional no programa ENVI-met, foi utilizado os dados climáticos do dia 07 de janeiro de 2016, considerando o dia mais estável do período de monitoramento. Neste dia, os dados coletados na estação automática de referência coletados pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), foram: 26,4°C de temperatura média; 32,8°C na temperatura máxima e 20,6°C na temperatura mínima. Nas coletas em campo no centro de Campinas, os dados registraram: 27,1°C para temperatura média; 33,5°C na temperatura máxima e 21,9°C para temperatura mínima.

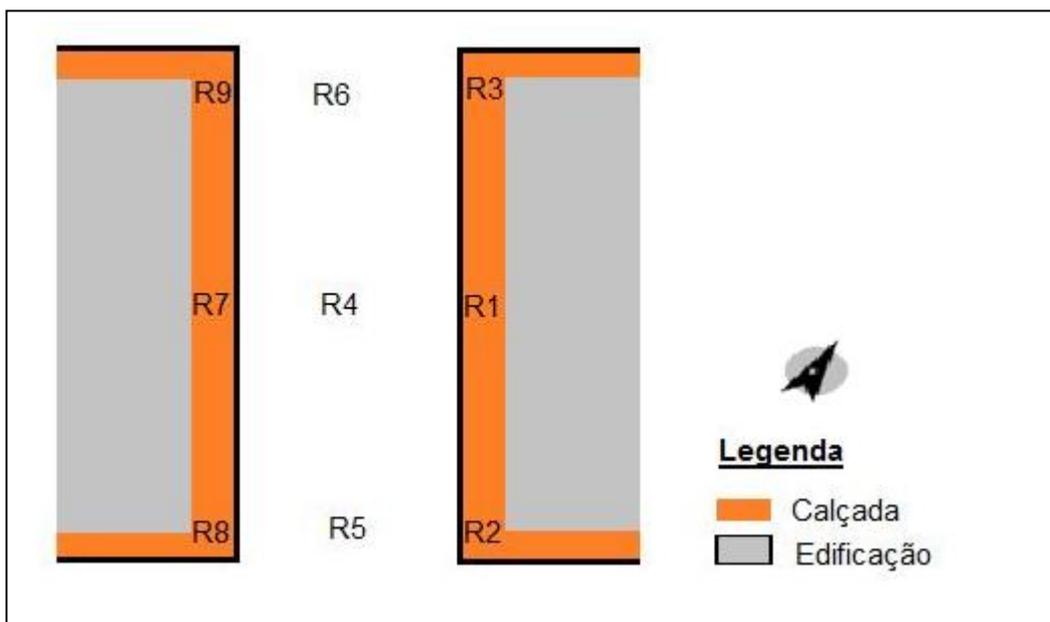
Nesta pesquisa, foi utilizada a ferramenta *simple forcing*, possibilitando inserir os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar coletados do ponto urbano de estudo. As simulações foram iniciadas às 21 horas, com duração de 54 horas, totalizando 2 dias (ciclos) completos. A estabilidade do modelo foi alcançada na primeira curva, a qual foi considerada para as análises. A Tabela 3 mostra os dados de entrada do modelo. Os dados de direção, velocidade do vento e temperatura foram coletados a partir da Estação Meteorológica do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). O coeficiente de ajuste solar foi ajustado a partir dos dados na estação de referência do IAC.

**Tabela 3:** Parâmetros dos dados de entrada no ENVI-met 4.4.5 Summer 20

Data da simulação	07 janeiro de 2016
Hora de início	21 h
Total de horas de simulação (h)	54
Condições de borda	Simple Forcing
<b>Dados de entrada</b>	
Dados meteorológicos	
Velocidade do vento a 10 metros (m/s)	2,2
Direção do vento	135
Temperatura mínima (°C)	21,9
Temperatura máxima (°C)	33,50
Umidade relativa mínima a 2 metros (%)	34,0
Umidade relativa máxima a 2 metros (%)	72,2
Coefficiente de ajuste solar	0,9
Temperatura interna do edifício (°C)	24
<b>Condições do solo</b>	
Umidade do solo (%)	
0-20 cm	50
20-50 cm	60
50-200 cm	60
Abaixo de 200 cm	60
Temperatura do solo (°C)	
0-20 cm	19,85
20-50 cm	19,85
50-200 cm	19,85
Abaixo de 200 cm	19,85

Para os dados de saída foram inseridos 9 receptores (Figura 12). Os receptores foram distribuídos dentro do cânion de estudo. Sendo o receptor R1, localizado no mesmo local que os dados de coleta, com o objetivo de realizar a calibração do modelo.

**Figura 12:** Localização dos receptores dentro da área de estudo



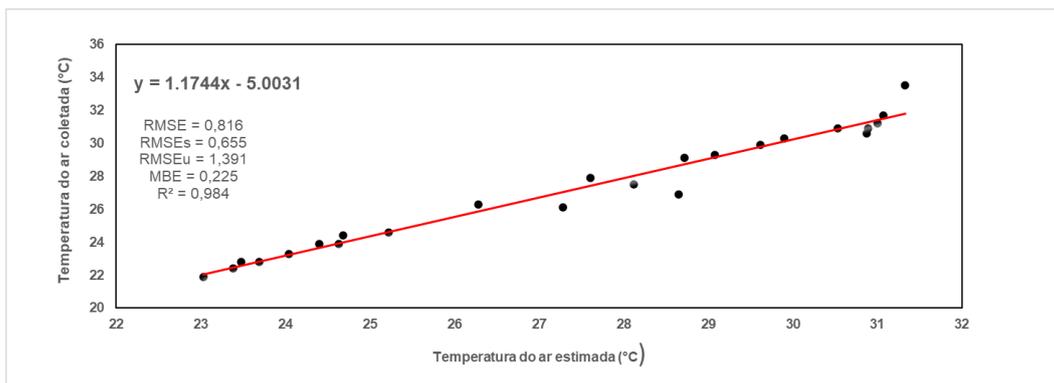
Fonte: as autoras

### 3.4.2 Calibração ENVI-met

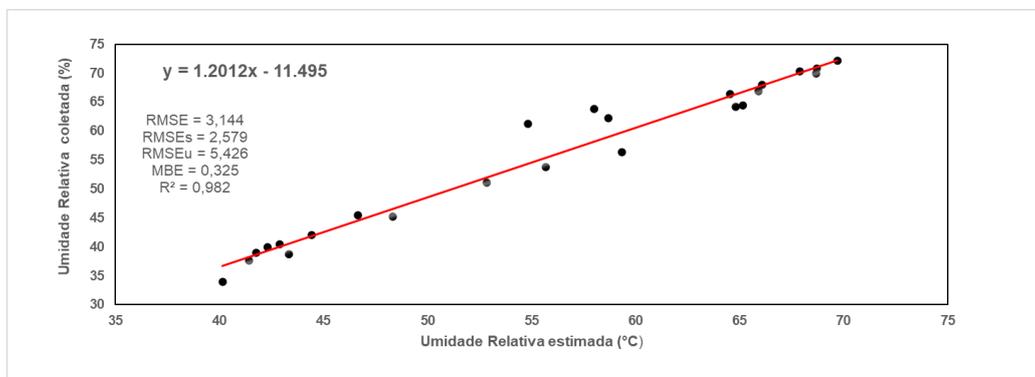
Com o objetivo de calibrar o modelo, a curva de temperatura e umidade relativa do ar coletada, foi comparada com os resultados dos dados simulados. O cenário de estudo digitalizado foi caracterizado com os mesmos materiais presentes na área. Os dados climáticos utilizados foram referentes ao ponto P1, coletados no cânion no dia 07 de janeiro de 2016, e o ponto receptor R1, inserido no modelo no mesmo local que o ponto P1. Ressalta-se que foram simulados 2 dias (2 curvas) e a estabilidade do modelo foi alcançada na primeira curva. Assim, Figuras 13 e 14 mostram as regressões lineares obtidas a partir da primeira curva de interação. Os índices estatísticos calculados foram: o Erro Quadrático Médio (RMSE), com componentes sistemáticos (RMSEs) e não sistemáticos (RMSEu); o desvio absoluto médio (MBE) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Verifica-se um bom ajuste do modelo, tanto para a temperatura do ar, quanto umidade relativa, com índice  $R^2$  no valor de 0,984 e 0,982, temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente. O RMSE fornece informações sobre o desempenho do modelo, sendo uma medida da magnitude média dos erros estimados, apresenta valores positivos e quanto mais próximo de zero melhor o desempenho do modelo. Assim verifica-se um bom

desempenho com baixas magnitudes nos valores de RMSE 0,816 e 3,144, e RMSEs no valor de 0,655 e 2,579 e RMSEu igual a 1,391 e 2,579, de temperatura do ar e umidade relativa, respectivamente. Ressalta-se um desempenho levemente superior no comportamento da temperatura do ar em comparação com a umidade relativa. Já o índice MBE de 0,225 para temperatura do ar e 0,325 indica que o modelo tende a superestimar os dois parâmetros.

**Figura 13:** Regressão Linear da curva da temperatura do ar



**Figura 14:** Regressão Linear da curva da umidade relativa



### 3.4.3 Cenários de Simulação

Nesta pesquisa, foram realizados diversos cenários com diferentes características, a fim de verificar o comportamento térmico do cânion de estudo e o conforto térmico do pedestre. O estudo propôs modificação no albedo dos materiais de superfícies urbanas horizontais.

As estratégias propostas são as variações do albedo dos materiais de superfícies no eixo horizontal, contemplando as coberturas e pavimentações. As variações do albedo foram feitas para verificar o desempenho climático nas diferentes configurações dos materiais. As alterações ocorreram a cada 0,30 no intervalo de 0,30 a 0,90. O cenário base foi configurado com todas as superfícies com 0,30 de albedo e para todos os cenários a via pública (ruas e avenidas), fixou em 0,20. Para os primeiros cenários foram considerados alterações do albedo dos materiais somente da pavimentação. Na segunda análise, considerou a variação somente na cobertura. E, por fim, avaliadas as variações nas duas superfícies simultaneamente. No total serão executados 7 cenários (tabela 4).

Para as nomenclaturas, adotou-se PA referenciando os pavimentos, CO representando as coberturas e PA/CO refere-se as alterações combinadas das duas superfícies. Acompanhado da nomenclatura, o número refere-se ao valor do albedo do material da superfície. De maneira mais ilustrativa, a Tabela 4 mostra a sequência da variação e a ordem dos cenários simulados.

**Tabela 4:** Caracterização dos cenários de estudo

<b>Cenários</b>	<b>Via</b>	<b>Pavimento (PA)</b>	<b>Cobertura (CO)</b>
CO60	0,20	0,30	<b>0,60</b>
CO90	0,20	0,30	<b>0,90</b>
PA60	0,20	<b>0,60</b>	0,30
PA90	0,20	<b>0,90</b>	0,30
PA/CO30	0,20	0,30	0,30
PA/CO60	0,20	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>
PA/CO90	0,20	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>

### 3.5 Critérios para cálculo do PET

O conforto térmico do pedestre foi avaliado através do índice da Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) o qual é um índice baseado no modelo MEMI (Munich Energy-balance Model for Individuals) de balanço de energia de um indivíduo. O índice resultante é expresso em graus Celsius. Mayer; Hoppe (2014) relatam que de acordo com estudos em diferentes regiões, o valor de 20°C pode ser caracterizado como confortável. Valores mais altos

indicam uma probabilidade crescente de estresse térmico, enquanto valores mais baixos indicam condições de conforto, Tabela 5.

Para esta pesquisa, o índice PET foi calculado através do programa a RayMan Pro 1.2 que foi desenvolvido pelo Meteorological Institute da Universidade de Freiburg. Para o cálculo foram considerados os valores médios dos 9 receptores da área de estudo e os dados padrões do programa (massa corporal de 75 kg, altura de 1,75 m, taxa metabólica de 80 W e isolamento térmico da vestimenta (Icl) de 0,9 clo).

Para esta pesquisa foi considerado a calibração proposta por Monteiro e Alucci (2010) do índice PET para a cidade de São Paulo. Verifica-se que para a cidade, a faixa conforto está entre 18 e 26 °C (Tabela 5).

**Tabela 5:** Calibração do índice PET proposta Monteiro e Alucci (2010) para a cidade de São Paulo

Sensação térmica	PET (°C)
Muito frio	<4
Frio	4-12
Pouco Frio	12-18
Neutro	18-26
Pouco Calor	26-31
Calor	31-43
Muito Calor	>43

Fonte: Adaptado de Monteiro e ALUCCI (2010)

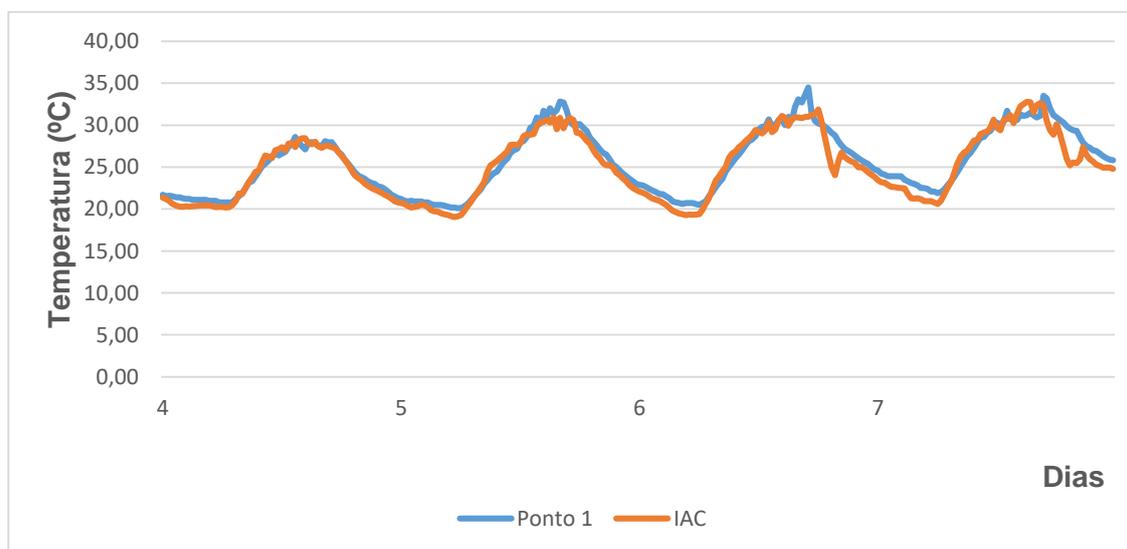
## 4. Resultados

### 4.1 Análise climática do período de verão

Nesta seção, serão apresentados os resultados das análises climáticas, realizadas no ponto de coleta no cânion urbano de estudo (P1), no período de verão. A estação meteorológica do IAC foi utilizada como referência e parâmetro para a comparação. Ressalta-se que, a coleta do ponto P1 foi feita através de um ponto fixo instalado no interior do cânion urbano. As medições foram realizadas em dias estáveis e sem precipitação.

No período de verão, as medições foram realizadas entre os dias 04 a 07 de janeiro de 2016. A Tabela 6 e Figura 15, mostram a variação climática do período. Os pontos urbanos apresentaram temperaturas mais elevadas em comparação com a estação de referência do IAC; diferença térmica da temperatura do ar média é aproximadamente 0,60 °C. Verifica-se que dia 07 se destacou, apresentando a maior temperatura média do período, 27,1°C e 26,4°C, maior temperatura do ar mínima (21,9°C e 20,6°C) e máxima, (33,5°C e 32,8°C), dos pontos P1 e IAC, respectivamente. Desta forma, foi adotado como dia típico de verão para a simulação computacional, o dia 07 de janeiro de 2016.

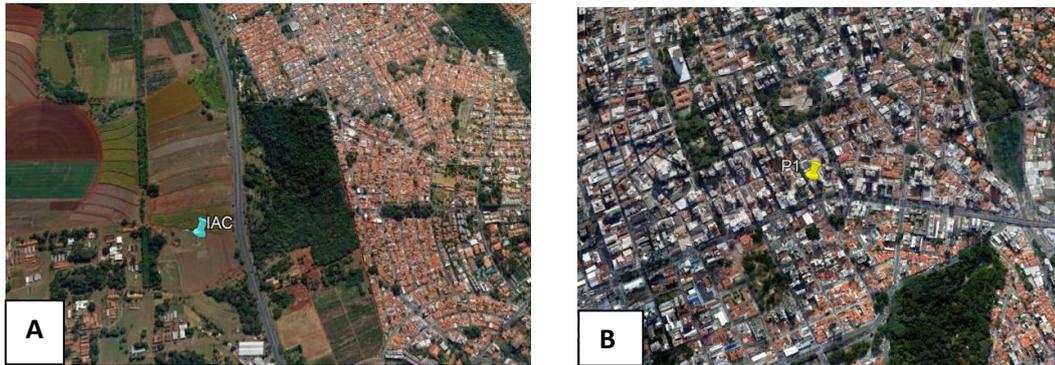
**Figura 15:** Variação da temperatura no período de verão, no Ponto de coleta (P1) e Estação Meteorológica do Instituto Agrônômica de Campinas (IAC)



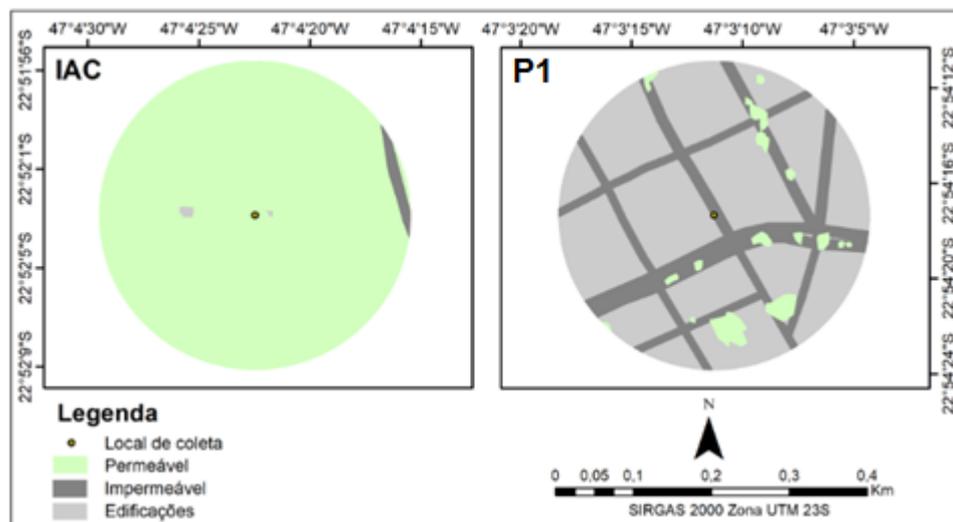
**Tabela 6:** Valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, no período de verão. Ponto de coleta (P1) e Estação Meteorológica do Instituto Agronômico de Campinas (IAC)

Data	Pto	Temperatura do ar (°C)				Ampl	Umid. rel. méd. (%)	Veloc. do Vento méd. (m/s)	Rad. Solar Máx. (W/m <sup>2</sup> )
		Med	Máx	Mín					
04/01/2016	P1	23,9	28,6	20,8	7,8	71,0			
	IAC	23,7	28,4	20,2	8,2	68,4	5,2	691,6	
05/01/2016	P1	25,3	32,8	20,1	12,7	63,9			
	IAC	24,8	30,9	19,1	11,9	61,4	4,8	965,0	
06/01/2016	P1	26,2	34,5	20,5	14,0	60,1			
	IAC	25,5	31,9	19,3	12,6	58,8	4,5	995,0	
07/01/2016	P1	27,1	33,5	21,9	11,6	55,4			
	IAC	26,4	32,8	20,6	12,2	55,5	3,7	859,0	

Como mostra a Figura 16, destaca-se que o ponto 1 (P1) localiza-se na região central da cidade, região com predominância de edifícios com altura média de 44 metros, ausência de vegetação, área de uso misto (residencial e comercial) e predominantemente com superfícies impermeáveis. Em contrapartida, a Estação Meteorológica de Referência do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), localiza-se em região próxima à rodovia, em área com processo de ocupação em consolidação, predominantemente com vegetação rasteira e cultivo agrícola. Verifica-se na Figura 17 e Tabela 7, a partir de um raio de 200 m, que o ponto IAC se encontra em região predominantemente permeável (98,4%) em contraste com a alta taxa de urbanização e superfícies impermeáveis do ponto central P1 (96,0%).

**Figura 16:** Caracterização da área de estudoPontos de Estudo **A:** IAC; **B:** P1

Fonte: Adaptado de Google Earth, 2020

**Figura 17:** Caracterização dos raios de abrangência do estudo (200m). Pontos de estudo**Tabela 7:** Caracterização das áreas permeáveis, impermeáveis e edificadas. Pontos de coleta

	Pontos de Coleta	
	IAC	P1
<b>Permeável</b>	98,4	3,9%
<b>Impermeável</b>	1,3%	23,1%
<b>Edificadas</b>	0,2%	72,9%

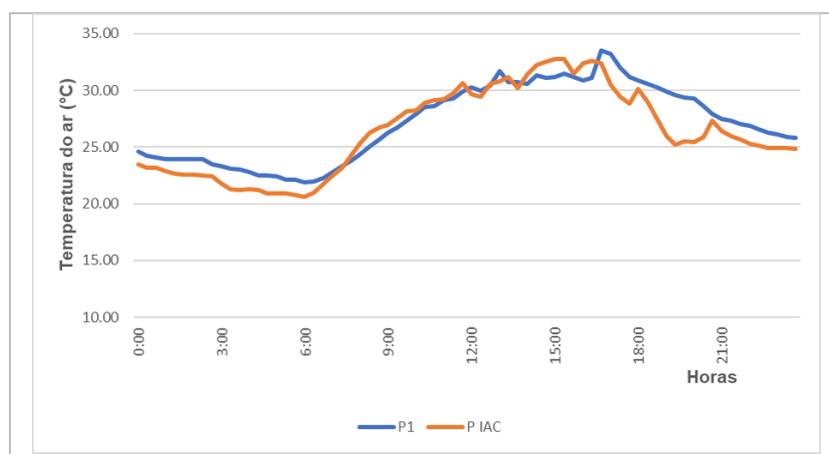
A Tabela 8 e Figura 18, mostram as temperaturas registradas no período de verão. Verifica-se uma tendência do ponto central (P1) ser mais aquecido que o ponto IAC. A diferença da temperatura média do ar entre os pontos estudados,

é aproximadamente 0,8°C. Já a diferença de temperatura do ar máxima entre os pontos foi de 0,7 °C. Em contrapartida, verifica-se uma diferença de 1,3 °C na temperatura do ar mínima. Este efeito é fortemente influenciado pela alta taxa de impermeabilização do solo, baixa percentagem de áreas verdes e densidade construída.

**Tabela 8:** Valores de temperatura do ar mínima e máxima, amplitude térmica, diferença térmica (  $\Delta T$  °C ). Pontos de Estudo no período de verão

	P 1	P IAC	( $\Delta T$ °C)
Temp.do ar méd, (°C)	27,1	26,4	0,8
Temp.do ar máx.(°C)	33,5	32,8	0,7
Temp.do ar mín. (°C)	21,9	20,6	1,3
Amp.térm. (°C)	11,6	12,2	-0,6

**Figura 18:** Temperatura do ar em função do tempo. Pontos de estudo



## 4.2 Avaliação da temperatura do ar nos cenários de estudo

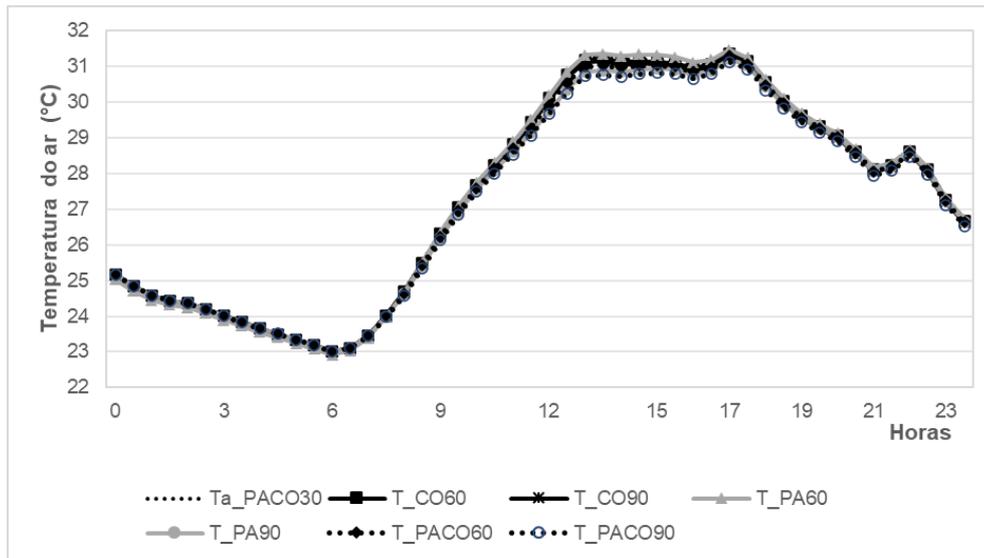
Os resultados apresentados neste item, foram baseados na média horária dos 9 receptores inseridos no cânion urbano de estudo. A Tabela 9, Figuras 19 e 20 apresentam os valores de temperaturas médias do ar; temperaturas radiantes médias e umidade relativa em todos os cenários simulados. Nota-se que na variação da cobertura (CO60 e CO90), o comportamento da temperatura do ar não apresentou muitas variações. Nestes cenários a temperatura do ar

média mínima ( $T_{\text{mín}}$ ) são semelhantes ( $23,0^{\circ}\text{C}$ ) e a média máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) variou apenas  $0,1$  ( $31,4^{\circ}\text{C}$  e  $31,3^{\circ}\text{C}$  respectivamente). Ou seja, apresenta uma pequena diminuição da temperatura máxima ao aumentar o albedo da cobertura de  $0,60$  para  $0,90$ . Em relação a temperatura radiante média ( $T_{\text{rmed}}$ ), não houve alteração nos valores da mínima e máxima ( $T_{\text{rmin}}= 14,5^{\circ}\text{C}$  e  $T_{\text{rmax}}=48,8^{\circ}\text{C}$ , respectivamente), apenas uma diferença de  $0,1$   $^{\circ}\text{C}$  na temperatura radiante média. Em contrapartida, nos cenários com variações na pavimentação (PA60 e PA90), verificou uma tendência na diminuição da temperatura nos horários das máximas. Na temperatura máxima, houve variação mais acentuada de PA60 para PA90, totalizando  $0,3^{\circ}\text{C}$  ( $31,5^{\circ}\text{C}$  e  $31,2^{\circ}\text{C}$ , respectivamente). A temperatura média mínima sofreu uma pequena alteração de  $0,1$ . Já na temperatura radiante média máxima, verificou uma variação de  $0,7^{\circ}\text{C}$ . Neste sentido, há uma tendência de maior eficiência na utilização das estratégias de aumento do albedo nas superfícies horizontais. Destaca-se que esta tendência poderia ser mais acentuada, se as calçadas do cânion de estudo fossem mais largas e se fossem considerados a variação das vias de circulação de veículos. Neste estudo, optou-se por manter as vias com o albedo original.

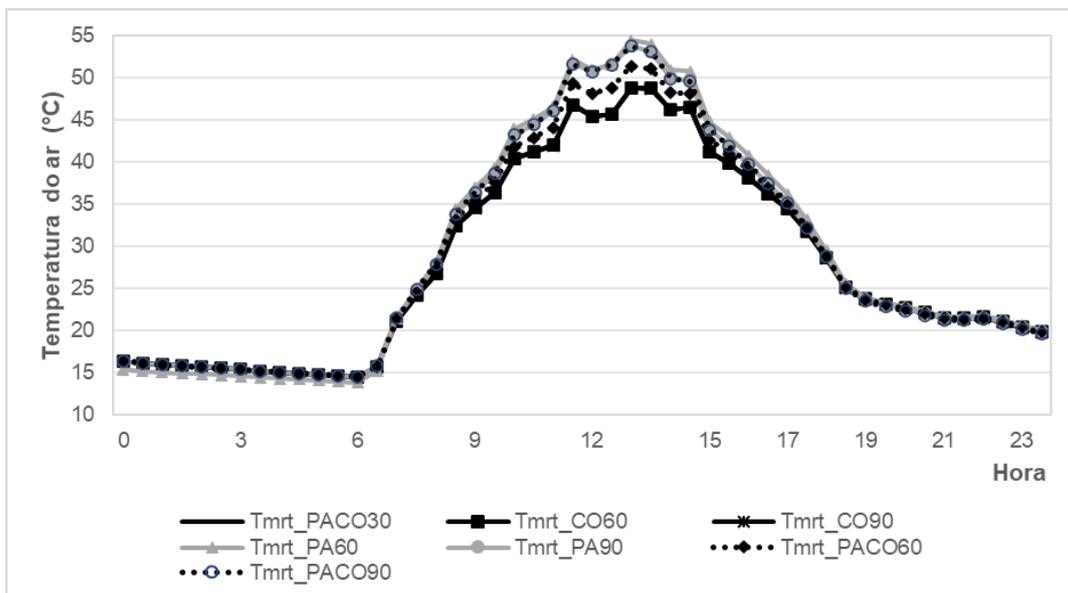
**Tabela 9:** Valores Médios de Temperatura do ar, Umidade Relativa, Temperatura Radiante Média. Média, mínima e máxima. Cenários de estudo. Período de Verão.

	CO60	CO90	PA60	PA90	PACO30	PACO60	PACO90
Temp. do ar Média ( $^{\circ}\text{C}$ )	27,4	27,4	27,5	27,3	27,5	27,4	27,3
Temp. do ar Média Mín. ( $^{\circ}\text{C}$ )	23,0	23,0	22,9	23,0	23,0	23,0	23,0
Temp. do ar Média Máx. ( $^{\circ}\text{C}$ )	31,4	31,3	31,5	31,2	31,4	31,3	31,1
Umid. Rel.Média (%)	55,5	55,5	55,4	55,6	55,4	55,6	55,8
Umid. Rel. Média Mín. (%)	40,1	40,2	39,8	40,1	40,0	40,1	40,3
Umid. Rel.Média Máx. (%)	69,8	69,8	70,2	69,8	69,8	69,8	69,8
Temp. Rad. Média ( $^{\circ}\text{C}$ )	27,9	27,8	29,2	29,1	27,9	28,5	29,0
Temp.Rad. Média Mín. ( $^{\circ}\text{C}$ )	14,5	14,5	13,9	14,5	14,5	14,5	14,5
Temp. Rad. Média Máx. ( $^{\circ}\text{C}$ )	48,8	48,8	54,5	53,8	48,8	51,4	53,8

**Figura 19:** Temperatura do ar em função do tempo. Médias horárias dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão.



**Figura 20:** Temperatura Radiante Média em função do tempo. Médias horárias dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão.



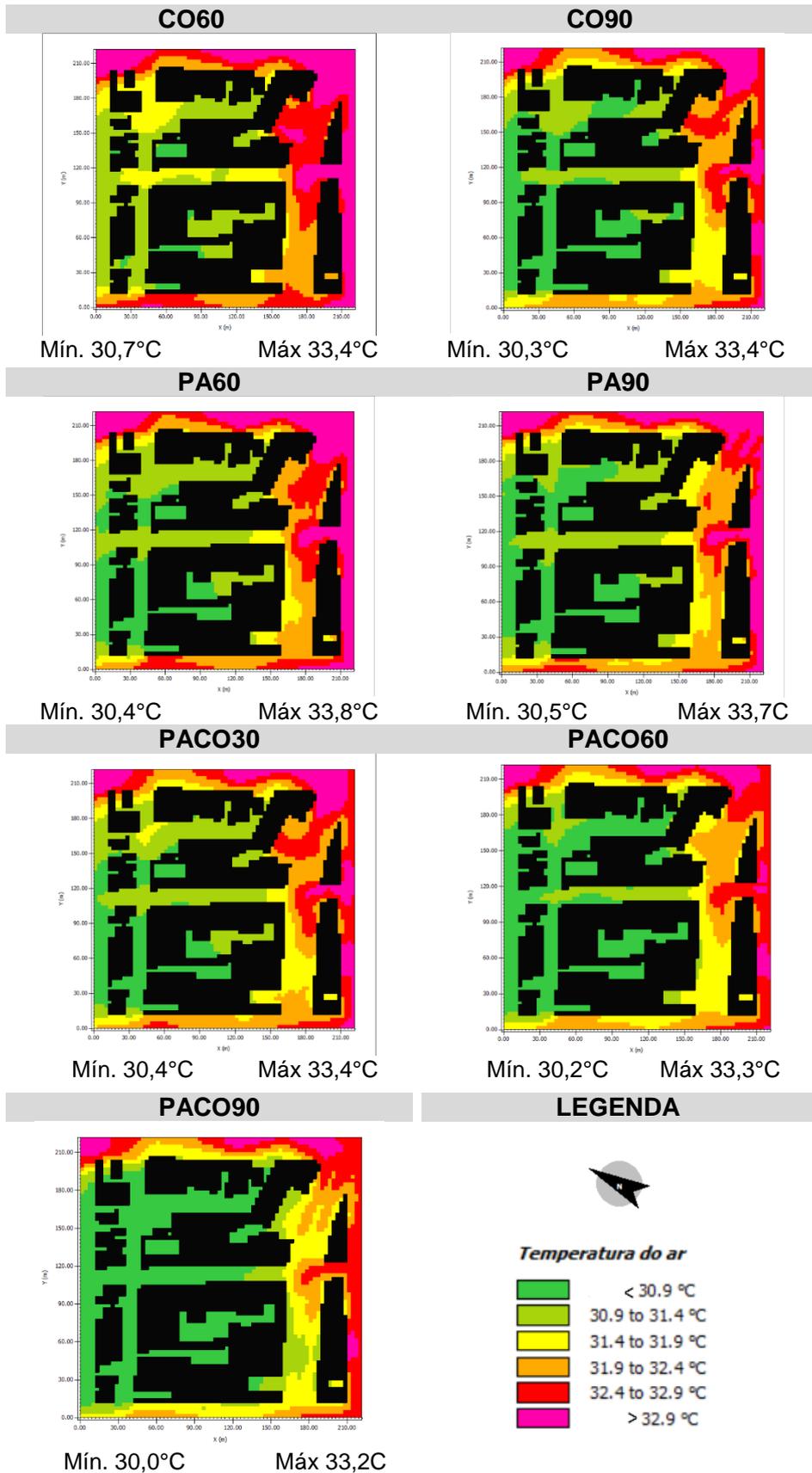
A distribuição da temperatura do ar e da temperatura radiante média, na área de estudo para o verão às 15 horas, é mostrada nas Figuras 21 e 22. Nota-se que a mudança do albedo somente na cobertura (CO60 e CO90), não apresentou variação na temperatura máxima, registrando 33,4°C; porém na mínima, CO90 demonstrou diferença inferior de 0,4°C em relação a CO60.

Referente aos cenários com alteração na pavimentação, a variação demonstrada na temperatura mínima e máxima foi de  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Analisando o cenário pavimentação e cobertura (PACO), a temperatura mínima diminui a cada  $0,2^{\circ}\text{C}$  à medida que aumenta o albedo. Já a temperatura máxima, decresce  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

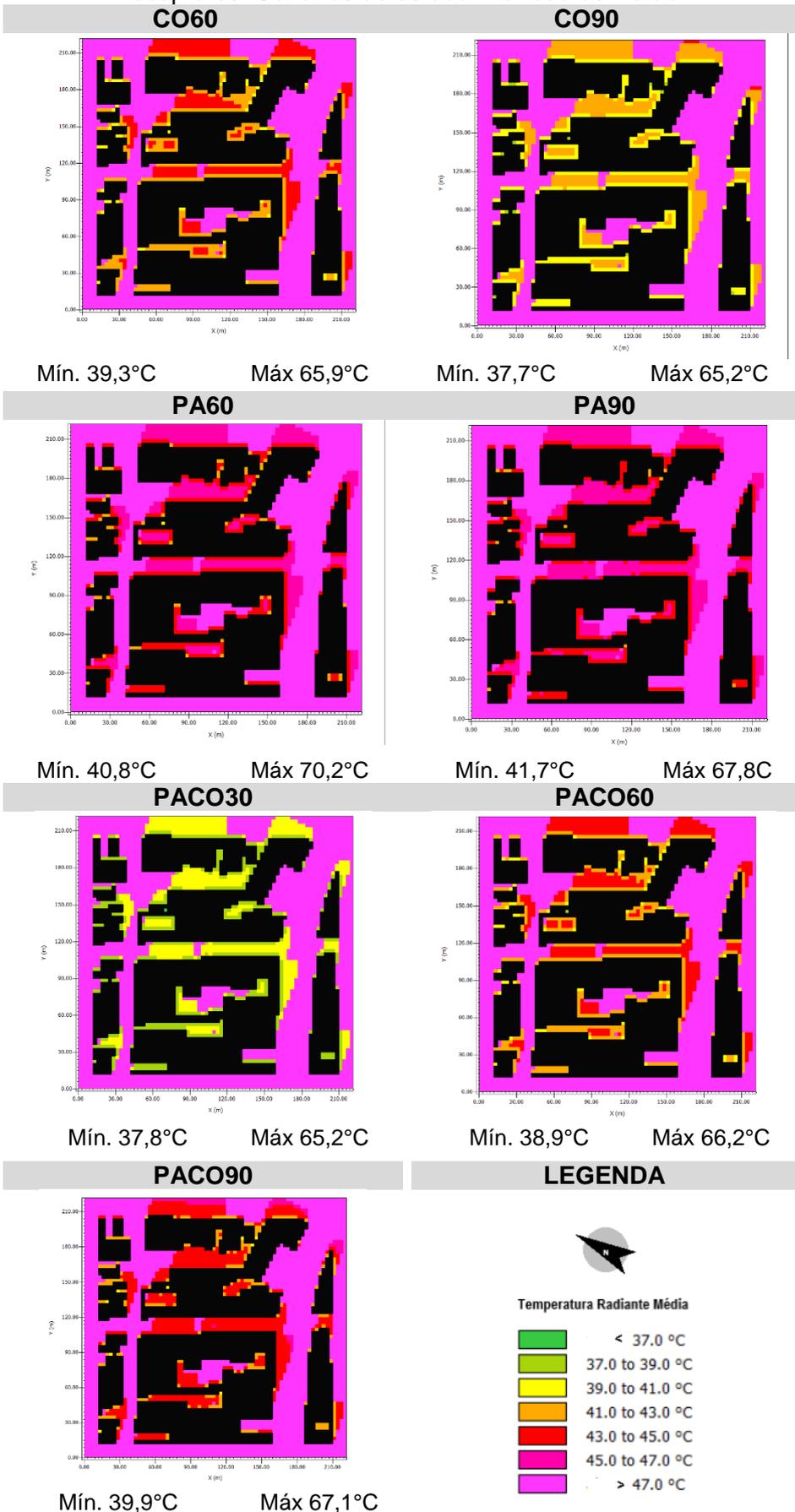
Dentre todos os cenários, o PACO90 é o que apresentou menor temperatura em grande parcela da área de estudo (Figura 21). A única situação em que a temperatura predomina, na faixa entre  $31,4$  e  $31,9^{\circ}\text{C}$  às 15 horas em torno do cânion urbano é CO60. Neste mesmo período do dia, observou de modo geral que, a variação do albedo na pavimentação (PA60 e PA90) tiveram comportamentos semelhantes, tanto no cânion quanto nas proximidades. O CO60 e PACO 90 destacou-se por apresentarem modificações mais significativas em toda área de estudo comparado aos demais cenários.

Observa-se nas Figuras 21 e 22 que nos cenários as diferenças térmicas da  $T_{\text{max}}$  e a  $T_{\text{rmmax}}$  são significativas. A maior faixa de variação nos cenários foi de  $3,4^{\circ}\text{C}$  ( $30,4^{\circ}\text{C}$  -  $33,8^{\circ}\text{C}$ ) para temperatura do ar e  $29,4^{\circ}\text{C}$  ( $40,8^{\circ}\text{C}$  -  $70,2^{\circ}\text{C}$ ) para a temperatura radiante média, ambas nos cenários de estudo PA60. Esta variação na temperatura radiante média evidência as diferenças entre o desempenho dos materiais. Verifica-se que as vias públicas estão influenciando significativamente na temperatura radiante média ( $T_{\text{rm}}$ ). Estudos relatam que a  $T_{\text{rm}}$ , é um bom indicador para determinar pontos aquecidos na área urbana (LAU et al., 2015). Neste sentido, Lindberg; Grimmond (2011) afirmam que a temperatura radiante média ( $T_{\text{rm}}$ ), é um importante indicador do estresse térmico no ambiente urbano aberto e sua variação pode ser determinada principalmente, pelos padrões de sombra gerados a partir de edifícios e vegetação. Outros fatores que também afetam a  $T_{\text{rm}}$ , são as propriedades térmicas dos materiais de superfícies (albedo, emissividade, entre outros). Devido a este aspecto, a  $T_{\text{rm}}$  apresenta grandes variações espaciais a curta distância, comparado com outros parâmetros como a temperatura do ar e umidade relativa (LINDBERG et al., 2014).

**Figura 21:** Temperatura do ar às 15 horas. Valores médios dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão.



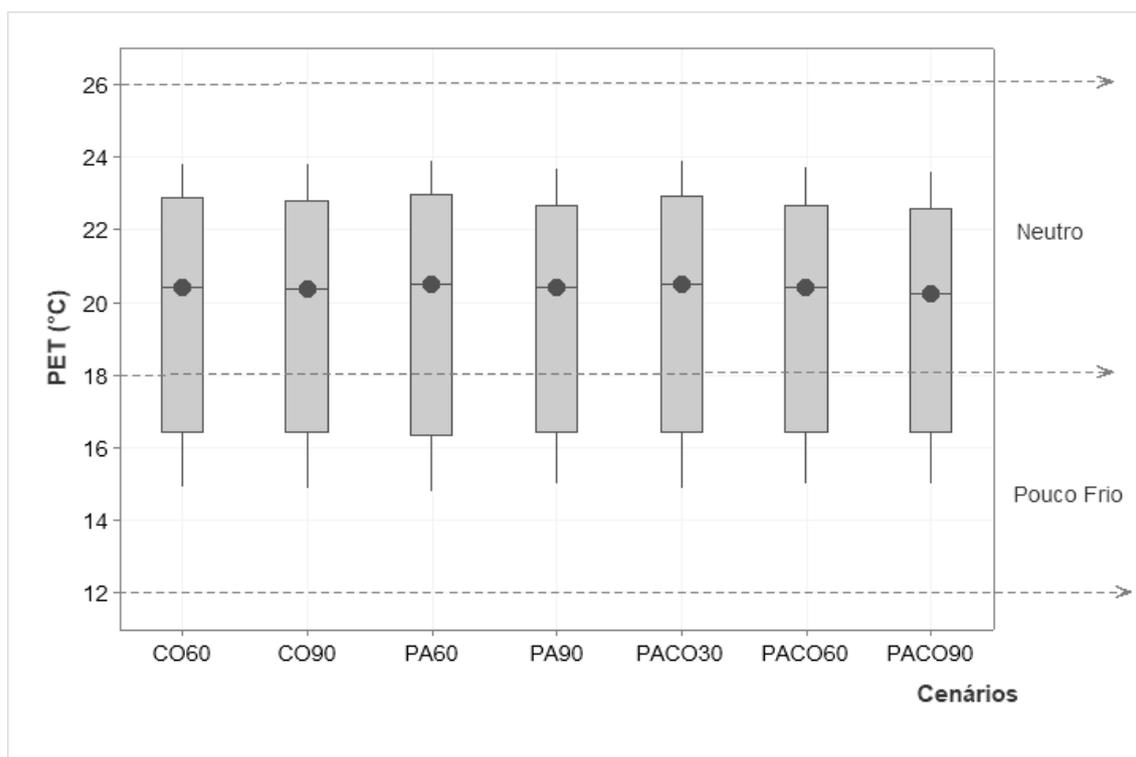
**Figura 22:** Temperatura Radiante Média 15 horas. Valores médios dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão.



A Figura 23 e Tabela 10 mostram a variação do índice PET nos cenários de estudo. Ressalta-se que os dados foram avaliados a partir da calibração proposta por Monteiro e Alucci, (2010). Verifica-se que todos os cenários, apresentaram comportamento similares na variação do PET. Observa-se que todos os cenários de estudo, estão na faixa de conforto ( $18^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 26^{\circ}\text{C}$ ) e pequenas horas do dia com leve desconforto para o frio.

Observa-se que independente da variação do albedo nas superfícies, o índice PET não sofreu grandes alterações e em todos os cenários, os valores permaneceram no intervalo de  $19,5^{\circ}\text{C}$  e  $19,7^{\circ}\text{C}$ . O cenário que apresentou o melhor desempenho, com  $19,5^{\circ}\text{C}$  no PET, variou a cobertura e a pavimentação (PACO90) com albedo 0,90 (Figura 23 e Tabela 10).

**Figura 23:** Variação do índice PET dentro do cânion de estudo, durante um dia. Valores médios dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão.



**Tabela 10:** Valores médios do índice PET dentro do cânion de estudo, durante um dia. Valores médio dos 9 receptores. Cenários de estudo. Período de Verão

<b>Cenário</b>	<b>PET</b>
CO60	19,7
CO90	19,6
PA60	19,7
PA90	19,6
PACO30	19,7
PACO60	19,6
PACO90	19,5

A pequena influência dos materiais na variação da temperatura do ar e do conforto térmico desta pesquisa, pode ser explicada por alguns fatores já estudados anteriormente por outros pesquisadores. As configurações geométricas apresentam consideráveis influências no desempenho térmico do meio urbano, tanto em relação a orientação, quanto ao valor do FVC e a relação H/W. Desta maneira, as edificações com alturas elevadas, ocasionam sombreamento nos desfiladeiros, modificando o comportamento da ilha de calor esperado durante a noite (JOHANSSON, 2006; MUNIZ-GÄAL et al., 2018; SOUZA et al., 2010).

Outro fator relevante para justificar a ausência de grandes variações na temperatura e no conforto térmico do pedestre, é a orientação cardinal em que o cânion urbano se encontra. A orientação N-S revela melhoria no conforto térmico do pedestre e maior sombreamento nos períodos da manhã e tarde. Em contrapartida, a orientação L-O propicia maiores variações sazonais dos efeitos do albedo, causando maior estresse térmico para o pedestre na estação do verão (KRÜGER; GONZALEZ, 2016). Na presente pesquisa, o cânion contempla edificações altas e a orientação depara-se a noroeste. Desta forma, a condição de estresse térmico é menor, devido ao sombreamento ser predominante em relação à radiação solar; sendo expostas somente nas horas centrais.

## 5. Considerações finais

A pesquisa avaliou o comportamento da temperatura do ar e o conforto térmico no nível do pedestre, a partir da variação do albedo nas superfícies urbanas horizontais, coberturas e pavimentações. O uso de materiais reflexivos é uma importante estratégia na mitigação do aquecimento urbano. Para análise dos cenários as simulações computacionais foram realizadas no programa ENVI-met versão 4.4.5 Summer 20.

Para a escolha da área de estudo, levou em consideração a orientação do cânion, o fator de visão do céu, as configurações geométricas do cânion (H/W) e suas características morfológicas. Embora haja comprovações em que a vegetação auxilia no resfriamento da temperatura, para o estudo, a área de estudo apresenta carência de área verde e o cânion urbano, demonstra diversidades de materiais de superfícies urbanas e construções de grandes alturas.

Após a simulação dos sete cenários, foi possível concluir que houve pequena alteração na temperatura radiante média máxima e mínima quando o albedo das superfícies foi alterado. O menor valor registrado na mínima foi 13,9°C, no PA60 e a máxima, apresentou 48,8°C em três cenários: CO60, CO90 e PACO30

Avaliando todos os cenários, nota-se que a temperatura do ar mínima não sofreu alteração, permanecendo em 23°C. Já a temperatura máxima variou entre 31,1°C a 31,5°C, destacando a menor temperatura máxima de 31,1°C no cenário de 0,90 em ambas as superfícies (PACO90). Quanto ao conforto térmico, avaliado a partir do índice PET, os cenários permaneceram na maior parte do dia na faixa de conforto entre 18° e 26°C. Com pequena variação, o PACO90, apresentou o menor índice PET com 19,5. Desta maneira, este cenário apresenta melhores condições em todos os aspectos analisados sendo considerado a estratégia com melhor desempenho térmico.

Os resultados da pesquisa apresentaram 4,4 na relação H/W e FVC de 0,31; representando um cânion com largura da via muito estreita e obstrução do céu devido à altura das edificações. Perante esta configuração, pode-se concluir que, as construções restringem a quantidade de radiação solar incidida na área e alturas das construções impede a chegada da radiação solar. Como consequência a temperatura não sofre influência dos materiais por receberem pequena radiação solar e então, não altera o conforto térmico do pedestre.

As tecnologias de mitigação podem minimizar o impacto das mudanças climáticas locais, do aquecimento urbano e potencializar o conforto térmico. No entanto, deve-se investigar a estratégia desta pesquisa na estação do inverno para verificar o comportamento da temperatura do ar e do conforto térmico do pedestre.

## 6. Referência Bibliográfica

AHMED, H. et al. Urban Climate Impact of urbanization and land cover change on urban climate : Case study of Nigeria. **Urban Climate**, v. 32, n. January, p. 100600, 2020.

ALCHAPAR, N.; CORREA, E. N.; CANTÓN, M. A. Índice De Reflectancia Solar De Revestimientos Verticales: Potencial Para La Mitigación De La Isla De Calor Urbana. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 3, p. 107–123, 2012.

ALCHAPAR, N. L. et al. The impact of different cooling strategies on urban air temperatures: the cases of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, n. 1–2, p. 35–50, 2017.

ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N.; CANTÓN, M. A. Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 22–32, 2014.

ALCOFORADO, M. J. et al. **Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa - Centro de Estudo Geográficos**. [s.l.: s.n.].

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Effects of asymmetry , galleries , overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. v. 81, p. 742–754, 2007.

ALLEGRI, J.; DORER, V.; CARMELIET, J. Influence of morphologies on the microclimate in urban neighbourhoods. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 144, p. 108–117, 2015.

ALMEIDA, M. A. M. DE; VASCONCELLOS, V. M. B. DE. Perfil dos métodos de análise mais usados na avaliação da influência da vegetação na temperatura do ar em ambientes externos no Brasil. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 20, n. 1679-0944, p. 1–19, 2019.

ALONSO, C. et al. Effect of façade surface finish on building energy rehabilitation. **Solar Energy**, v. 146, p. 470–483, 2017.

AMORIM, M. C. DE C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente / SP : episódios de inverno. **Geosul, Florianópolis**, v. 20, p. 65–82, 2005.

ANTROP, M. Landscape change and the urbanization process in Europe. **Landscape and Urban Planning**, v. 67, p. 9–26, 2004.

ASCIONE, F. et al. Experimental and numerical evaluations on the energy penalty of reflective roofs during the heating season for Mediterranean climate. **Energy**, v. 144, p. 178–199, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. 2005.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160–177, 2016.

BOWLER, D. E. et al. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. **Landscape and Urban Planning**, v. 97, n. 3, p. 147–155, set. 2010.

BRANCO, L. M. B. C.; ROMERO, M. A. B. **Microclima Urbanos no Plano Piloto**

**de Brasília: O caso da Superquadra 108 Sul** Brasília, 2009.

BRETZ, S. E.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v. 25, 1997.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, n. 3–4, p. 373–384, 1998.

CAMPINAS. **Prefeitura Municipal de Campinas** Campinas, 2020.

CASTRO, A. P. DE A. S. et al. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, n. 16, p. 69–76, 2003.

CEPAGRI. **Centro de Pesquisa Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura** Campinas UNICAMP, , 2020.

CHONG, A. et al. Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate. **Solar Energy**, v. 173, n. August, p. 597–609, 2018.

DAVTALAB, J. et al. The impact of green space structure on physiological equivalent temperature index in open space. **Urban Climate**, v. 31, n. October 2017, p. 100574, 2020.

DORNELLES, K. A. **ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS : MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO E BASE DE DADOS PARA TINTAS LÁTEX ACRÍLICA E PVAT** Tese (Doutorado) - Faculdade de engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, , 2008.

DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M. **Impactos da Exposição ao Intemperismo Natural Sobre as Refletâncias de Tintas Para Cobertura de Edifícios**. Entac. **Anais...2012**

DOULOS, L.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. **Solar Energy**, v. 77, n. 2, p. 231–249, 2004.

EPA (2003) - Cooling summertime temperatures. Strategies to reduce urban heat island. <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/HIRIdrochure.pdf> [Acesso em 18 de agosto de 2016].

FARHADI, H.; FAIZI, M.; SANAIEIAN, H. Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 46, 1 abr. 2019.

FARIA, J. R. G. DE; MENDES, J. F. G. Sobre o uso e ocupação do solo urbano e a temperatura do ar. **Ambiente Construído**, v. 4, p. 7–17, 2004.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. **Boletim Técnico - Série BT/PCC**, 2003.

GANGULY, A.; CHOWDHURY, D.; NEOGI, S. Performance of Building Roofs on Energy Efficiency - A Review. **Energy Procedia**, v. 90, n. December 2015, p. 200–208, 2015.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Versão 7,3,1,4507. Mountain Valley, CA. Google LLC, 2018.

GOOGLE. **Google Street View**. Versão 247. Mountain Valley, CA. Google LLC, 2018

GOMES, M. ANÔNIO S.; AMORIM, MA. C. DE C. T. Arborização e Conforto Térmico no Espaço Urbano: ESTUDO DE CASO NAS PRAÇAS PÚBLICAS DE PRESIDENTE PRUDENTE ( SP ). **Caminhos de Geografia Online**, v. 7, n. 10, p. 94–106, 2003.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2020.

IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. **Invergovernmental Panel on Climate Change**, p. 1454, 2014.

IPCC. Climate Change and Land. **Invergovernmental Panel on Climate Change**, p. 1–43, 2019.

JAIN, S. et al. Urban heat island intensity and its mitigation strategies in the fast-growing urban area. **Journal of Urban Management**, n. September, p. 0–1, 2019.

JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate : A study in Fez , Morocco. **Building and Environment**, v. 41, p. 1326–1338, 2006.

JOHANSSON, E. et al. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. **Urban Climate**, v. 10, p. 346–366, 2014.

JOHNSON, F. T.; WATSON, I. D. **The Determination of View - Factors in Urban Canyons**, 1984.

KIM, H.; GU, D.; KIM, H. Y. Effects of Urban Heat Island mitigation in various climate zones in the United States. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, n. June, p. 841–852, 2018.

KRÜGER, E. L. et al. Calibração do índice de conforto para espaços externos Physiological Equivalent Temperature (PET) para Curitiba. **Ambiente Construído**, v. 18, p. 135–148, 2018.

KRÜGER, E. L.; GONZALEZ, D. E. G. Impactos da alteração no albedo das superfícies no microclima e nos níveis de conforto térmico de pedestres em cânions urbanos. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 3, p. 89–106, 2016.

KUMARI, P. et al. Urban Climate Impact of urban heat island formation on energy consumption in Delhi. **Urban Climate**, v. 36, n. January, p. 100763, 2021.

KYRIAKODIS, G. E.; SANTAMOURIS, M. Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates - Results from a large scale urban mitigation project. **Urban Climate**, v. 24, p. 326–339, 2018.

LAMARCA, C.; QÜENSE, J.; HENRÍQUEZ, C. Urban Climate Thermal comfort and urban canyons morphology in coastal temperate climate , Concepción , Chile. **Urban Climate**, v. 23, p. 159–172, 2018.

LAU, K. K.-L. et al. The effect of urban geometry on mean radiant temperature under future climate change: a study of three European cities. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 7, p. 799–814, 2015.

- LI, H. et al. Temporal variation of urban aerosol pollution island and its relationship with urban heat island. **Atmospheric Research**, v. 241, n. March, p. 104957, 2020.
- LI, X. X.; NORFORD, L. K. Evaluation of cool roof and vegetations in mitigating urban heat island in a tropical city, Singapore. **Urban Climate**, v. 16, p. 59–74, 2016.
- LIMA, L. C.; ZANELLA, M. E. A Climatologia Aplicada ao Planejamento Urbano e Ambiental de Aquiraz/CE-BR. **Revista Geográfica de América Central**, p. 1–13, 2011.
- LIMA, V.; AMORIM, M. C. DE C. T. A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS VERDES PARA A QUALIDADE AMBIENTAL DAS CIDADES. **Revista Formação**, v. n13, p. 139–165, 2006.
- LINDBERG, F. et al. Characteristics of the mean radiant temperature in high latitude cities-implications for sensitive climate planning applications. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 5, p. 613–627, 2014.
- LINDBERG, F.; GRIMMOND, C. S. B. Nature of vegetation and building morphology characteristics across a city: Influence on shadow patterns and mean radiant temperatures in London. **Urban Ecosystems**, v. 14, n. 4, p. 617–634, 2011.
- LOBACCARO, G.; ACERO, J. A. Urban Climate Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. **Urban Climate**, v. 14, p. 251–267, 2015.
- LOPES, A. O SOBREAQUECIMENTO DAS CIDADES CAUSAS E MEDIDAS PARA A MITIGAÇÃO DA ILHA DE CALOR DE LISBOA. **Territorium**, v. 15, p. 39–52, 2008.
- MACKEY, C. W.; LEE, X.; SMITH, R. B. Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. **Building and Environment**, v. 49, p. 348–358, 1 mar. 2012.
- MAHESHWARI, B. et al. Urban Climate Is urbanisation also the culprit of climate change? – Evidence from Australian cities. **Urban Climate**, v. 31, n. June 2018, p. 100581, 2020.
- MARTINS, T. A. DE L.; BONHOOMME, M.; ADOLPHE, L. Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações: um estudo de caso na cidade de Maceió, AL. **Ambiente Construído**, v. 13, p. 213–233, 2013.
- MARTINS, T. A. L.; ADOLPHE, L.; BASTOS, L. E. G. From solar constraints to urban design opportunities: Optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city. **Energy & Buildings**, v. 76, p. 43–56, 2014.
- MATHEUS, C. et al. Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 16, p. 71–81, 2016.
- MAYER, H.; HOPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, n. March, p. 43–49, 2014.

- MIDDEL, A. et al. Sky View Factor footprints for urban climate modeling. **Urban Climate**, v. 25, n. April, p. 120–134, 2018.
- MIRZAEI, P. A.; HAGHIGHAT, F. Approaches to study Urban Heat Island e Abilities and limitations. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2192–2201, 2010.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Índices De Conforto Térmico Em Espaços Urbanos Abertos. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 1–26, 2009.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. THERMAL COMFORT INDEXES IN OPEN URBAN SPACES. **Forum Patrimônio: Ambiente Construído e Patr. Sustentável**, v. v4, 2010.
- MORINI, E. et al. Urban Climate Evaluation of albedo enhancement to mitigate impacts of urban heat island in Rome ( Italy ) using WRF meteorological model. **Urban Climate**, v. 24, n. November 2016, p. 551–566, 2018.
- MUNIZ-GAAL, L. P.; PEZZUTO, C.; FABIUS, M.; DE, C. H. Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. **Building and Environment**, v. 169, 2020.
- MUNIZ-GAAL, L. P. et al. Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. v. 169, n. July 2019, 2020.
- MUNIZ-GÄAL, L. P. et al. Parâmetros urbanísticos e o conforto térmico de cânions urbanos: o exemplo de Campinas, SP. **Ambiente Construído**, v. 18, p. 177–196, 2018.
- NORO, M.; LAZZARIN, R. Urban heat island in Padua, Italy: Simulation analysis and mitigation strategies. **Urban Climate**, v. 14, p. 187–196, 2015.
- OKE, T. R. Street Design and Urban Canopy Layer Climate. **Energy & Buildings**, v. 11, p. 103–113, 1988.
- OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report No. 81, WMO=TD No. 1250. 2006.
- PANTAVOU, K. et al. Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens. **Building and Environment**, v. 46, n. 2, p. 339–344, 2011.
- PISELLO, A. L.; COTANA, F. The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy : Results from two years of continuous monitoring. **Energy & Buildings**, v. 69, p. 154–164, 2014.
- POUCOS R, M. F. **Flood Hazards & Health - Responding to Present and future Risks**. London: [s.n.].
- RADHI, H.; FIKRY, F.; SHARPLES, S. Impacts of urbanisation on the thermal behaviour of new built up environments : A scoping study of the urban heat island in Bahrain. **Landscape and Urban Planning**, v. 113, p. 47–61, 2013.
- ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Ambiente Construído**, v. 11, p. 161–175, 2011.

SABRIN, S. et al. Urban Climate Quantifying environmental and social vulnerability : Role of urban Heat Island and air quality , a case study of Camden , NJ. **Urban Climate**, v. 34, n. October, p. 100699, 2020.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 103, p. 682–703, 2014.

SANTAMOURIS, M. et al. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings - A review. **Energy and Buildings**, v. 98, p. 119–124, 2015.

SANTAMOURIS, M. et al. Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. **Solar Energy**, v. 154, p. 14–33, 2017.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085–3102, 2011.

SANTOS, E. I. DOS;; COIMBRA, ISADORA L.; MARINOSKI, DEIVIS LUIS; LAMBERTS, ROBERTO; DORNELLES, K. A. Influência Da Rugosidade Superficial Sobre Os Valores Da Absortância Solar Determinados Com O Espectrômetro. **XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, n. 1, 2011.

SHAHMOHAMADI, P. et al. Healthy Environment : The Need to Mitigate Urban Heat Island Effects on Human Health. **Procedia Engineering**, v. 20, p. 61–70, 2011.

SHAREEF, S.; ABU-HIJLEH, B. The effect of building height diversity on outdoor microclimate conditions in hot climate . A case study of Dubai-UAE. **Urban Climate**, v. 32, n. May 2019, p. 100611, 2020.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. **Ambiente Construído**, v. 18, p. 197–215, 2018.

SILVA, M. T.; SILVA, R. V.; COSTA, S. Impactos da urbanização na temperatura e no balanço de radiação à superfície no município de Fortaleza - CE com base em imagens espectrais do TM/Landsat 5. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR. Brasil**, v. 2, p. 917–924, 2011.

SON, N. .; CHEN, C. .; CHEN, C. . Urban expansion and its impacts on local temperature in San Salvador, El Salvador. **Urban Climate**, v. 32, n. March, p. 100617, 2020.

SOUZA, L. C. L. DE et al. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 14, p. 155–167, 2010.

STEWART, I. D. Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950–2006. **Acta Climatologica Et Chorologica**, v. 40–41, n. 1951, p. 111–121, 2007.

STEWART, I. D. Why should urban heat island researchers study history? **Urban**

**Climate**, v. 30, n. January, p. 100484, 2019.

TALEGHANI, M. The impact of increasing urban surface albedo on outdoor summer thermal comfort within a university campus. **Urban Climate**, v. 24, n. February, p. 175–184, 2018a.

TALEGHANI, M. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies-A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. October 2016, p. 2011–2018, 2018b.

TEIXEIRA, C. F. B. Green space configuration and its impact on human behavior and URBAN environments. **Urban Climate**, v. 35, n. April 2019, p. 100746, 2021.

TONG, S. et al. Impact of urban morphology on microclimate and thermal comfort in northern China. **Solar Energy**, v. 155, p. 212–223, 2017.

TSOKA, S.; TSIKALOUDAKI, A.; THEODOSIOU, T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. **Sustainable Cities and Society**, v. 43, n. August, p. 55–76, 2018.

VARGAS, N.; MAGAÑA, V. Urban Climate Climatic risk in the Mexico city metropolitan area due to urbanization. **Urban Climate**, v. 33, n. February, p. 100644, 2020.

WAI, KA-MING; YUAN, CHAO; LAI, ALAN; YU, P. K. N. Relationship between pedestrian-level outdoor thermal comfort and building morphology in a high-density city. **Science of the Total Environment**, v. 708, p. 134516, 2020.

ZENG, L. et al. A fast approach for large-scale Sky View Factor estimation using street view images. **Building and Environment**, v. 135, n. March, p. 74–84, 2018.

ZHOU, Y. et al. Urban morphology on heat island and building energy consumption. **Procedia Engineering**, v. 205, n. October 2017, p. 2401–2406, 2017.