

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**CONFIGURAÇÃO URBANA E CONFORTO TÉRMICO AO NÍVEL
DO PEDESTRE: ESTUDOS NA CIDADE DE SÃO CARLOS-SP**

MARIA EUGÊNIA FERNANDES

São Carlos
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**CONFIGURAÇÃO URBANA E CONFORTO TÉRMICO AO NÍVEL
DO PEDESTRE: ESTUDOS NA CIDADE DE SÃO CARLOS-SP**

MARIA EUGÊNIA FERNANDES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Érico Masiero

São Carlos
2019

Fernandes, Maria Eugênia

Configuração urbana e conforto térmico ao nível do pedestre: estudos na cidade de São Carlos - SP / Maria Eugênia Fernandes. -- 2019.
92 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador: Érico Masiero

Banca examinadora: Lea Cristina Lucas de Souza, Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

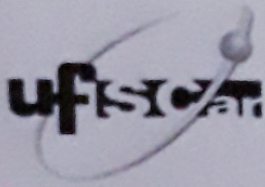
Bibliografia

1. Clima urbano. 2. Conforto térmico. 3. Índice PET. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Ronildo Santos Prado – CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Maria Eugênia Fernandes, realizada em 26/04/2019:

Prof. Dr. Érico Masiéro
UFSCar

Profa. Dra. Lea Cristina Lucas de Souza
UFSCar

P/

Profa. Dra. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes
UNESP

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Maria Solange Gurgel de Castro Fontes e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ao) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

Prof. Dr. Érico Masiéro

DEDICATÓRIA

À minha avó, Maria Eulália
(in memoriam), por tudo que
sempre foi e sempre será...

AGRADECIMENTOS

À Deus

À minha família, especialmente à minha mãe por sempre me apoiar e incentivar em todas as minhas escolhas, sem nunca me cobrar resultado algum e por me dar condições de trilhar esse caminho.

Ao meu irmão pela ajuda com a instalação dos equipamentos e por me dar o melhor presente do mundo, minha sobrinha/afilhada, Maria Clara, a quem também agradeço por fazer meus dias mais doces.

À Alessandra, que sempre me apoia, me ajuda, revisa meus textos, meus e-mails, me acompanha nas pesquisas e me ouve pacientemente.

Aos amigos que me acompanham na vida (Thais, Iandra, Simone, Roberta e Tati) e aos que dividiram comigo os últimos dois anos, especialmente à Camila, Carolina, Suisse, Alejandro, Fernando, Natália, Claudinei.

Ao meu orientador Prof. Dr. Érico Masiero, pela paciência, generosidade e disponibilidade desde os passos iniciais dessa pesquisa.

Às Professoras Lea e Solange, por gentilmente aceitarem participar das bancas de qualificação e defesa e pelas contribuições para essa pesquisa.

Às pessoas que aceitaram “hospedar” os equipamentos durante o período de coletas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Resumo

A urbanização vem causando transformações no clima urbano, alterando a temperatura e a umidade relativa do ar, os índices de precipitação e, até, contribuindo para o aumento da ocorrência de ilhas de calor urbano em diversas cidades do mundo. Dessa forma, torna-se importante que os espaços urbanos possibilitem maior conforto térmico aos habitantes. Há uma grande diversidade científica de estudos climáticos, porém há uma grande dificuldade na transmissão do conhecimento relativo aos fenômenos microclimáticos para os planejadores e gestores urbanos. A legislação de uso e ocupação do solo existente na maior parte das cidades brasileiras fornece diretrizes gerais para a execução de projetos de edificações e de intervenções urbanas, no entanto, são raras as que especificam medidas de adaptação aos impactos provocados no clima. Percebe-se, portanto, a necessidade de analisar o conforto nos espaços urbanos e de que maneira a configuração desse espaço pode contribuir para sua melhoria. O objetivo principal desse trabalho é determinar a influência de parâmetros da configuração urbana no conforto térmico dos usuários. Para isso, foi realizada a classificação de quatro recortes urbanos de acordo com os parâmetros do sistema de Zonas Climáticas Locais, e avaliado o índice PET relativo ao nível de conforto térmico dos usuários. Assim, buscou-se identificar a percepção térmica e satisfação dos usuários com o ambiente térmico, através de entrevistas estruturadas com pedestres nas quatro ZCLs selecionadas. Os resultados apontam para a classificação de quatro diferentes tipos de ZCLs nas áreas analisadas: ZCL 6₅, ZCL 3_B, ZCL 2, ZCL 2₃. O índice PET calculado nos horários de 10h, 16h e 19h variou de 27°C (ZCL 6₅) a 48,6°C (3_B). Tanto o PET quanto a percepção dos usuários apresentam estresse térmico, com grande percepção de calor mesmo no período das 19h, onde se esperava que as áreas tivessem um resfriamento. Em geral, os usuários declararam maior satisfação na ZCL 6₅, onde se observam os maiores índices de vegetação arbórea; mesmo em situações de elevada temperatura do ar. O teste de correlação apontou que o nível de conforto é menor a medida em que se aumentam as áreas impermeáveis e construídas e a relação H/W. Por outro lado, o nível de conforto aumenta quando se aumentam as áreas permeáveis.

Palavras-chave: clima urbano, conforto térmico urbano. Índice PET, Zonas Climáticas Locais.

Abstract

Urbanization has been causing changes in the urban climate, altering the temperature and relative humidity of the air, the precipitation indexes, and even contributing to the increase of the occurrence of urban heat islands in several cities of the world. In this way, it becomes important that urban spaces allow greater thermal comfort to the inhabitants. There is a great scientific diversity of climatic studies, but there is a great difficulty in transmitting the knowledge related to microclimatic phenomena to urban planners and managers. The land use and occupation legislation that exists in most Brazilian cities provides general guidelines for the execution of building projects and urban interventions, however, those that specify adaptation measures to the impacts caused in the climate are rare. It is therefore perceived the need to analyze comfort in urban spaces and in what way the configuration of this space can contribute to its improvement. The main objective of this work is to determine the influence of urban configuration parameters on the thermal comfort of users. For that, the classification of four urban cuts according to the parameters of the ZCL system was performed, and the PET index relative to the level of thermal comfort of the users was evaluated. Thus, we sought to identify the thermal perception of users' satisfaction with the thermal environment, through structured interviews with pedestrians in the four selected ZCLs. The results point to the classification of four different types of ZCLs in the analyzed areas: ZCL 6₅, ZCL 3_B, ZCL 2, ZCL 23. The PET index calculated at the hours of 10h, 16h, and 19h ranged from 27 ° C (ZCL 6₅) to 48.6 ° C (3_B). Both the PET and the perception of the users present thermal stress, with great perception of heat even in the period of 19h, where the areas were expected to have a cooling. In general, users reported higher satisfaction in ZCL 6₅, where the highest rates of tree vegetation were observed; even in situations of high air temperature. The correlation test showed that the level of comfort is lower as the impermeable and constructed areas are increased and the H / W ratio is increased. On the other hand, the comfort level increases when the permeable areas increase.

Keywords: urban climate, urban thermal comfort, PET Index, Local Climate Zones.

Sumário

1 Introdução	12
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos	16
1.3 Estrutura	16
2 Revisão Bibliográfica.....	18
2.1 Clima Urbano	18
2.2 Planejamento urbano e Mudança Climática.....	20
2.3 A influência da morfologia no clima urbano.....	24
2.3.1 Zonas Climáticas Locais	26
2.4 Conforto Térmico Urbano.....	31
2.4.1 Índices de conforto	32
2.4.2 Índice Temperatura Equivalente Fisiológica (<i>Physiological Equivalent Temperature</i> – PET)	34
2.4.3 Índices subjetivos de conforto térmico.....	36
3 Método	38
3.1 Definição das áreas de estudo	40
3.1.1 São Carlos - SP.....	40
3.1.2 Pontos analisados	45
3.2 Classificação das áreas urbanas.....	50
3.3 Coleta de dados microclimáticos.....	51
3.4 Coleta de dados sobre a percepção térmica dos usuários	55
3.5 Cálculo do índice de conforto	58
3.6 Espacialização das médias de PET.....	59
3.7 Análise estatística	60
4 Resultados e discussão	61
4.1 Caracterização das áreas urbanas - Zonas Climáticas Locais	61
4.2 Caracterização do microclima	65
4.3 Conforto térmico	69
4.4 Espacialização das médias de PET.....	76
4.5 Correlação Linear: PET x Parâmetros das ZCL	79
5 Considerações finais.....	82
Referências	85
Apêndice	91
A. Questionário	91
B. Gráficos de dispersão: ZCL x PET.....	92

Lista de Figuras

Figura 1 - Planejadores urbanos são a peça chave para tornar o ambiente mais adequado aos índices de conforto térmico humano	13
Figura 2 - Representação da atmosfera urbana, ilustrando as duas camadas de modificação urbana	19
Figura 3 - Perfil da Ilha de Calor Urbano.....	20
Figura 4 - Relação H/W em um cânion urbano.....	25
Figura 5 - Processo metodológico.....	39
Figura 6 - Localização.....	40
Figura 7 - Comparação entre as normais climatológicas 1961/1990 e 1981/2010 para São Carlos.....	41
Figura 8 - Simulação da variação da temperatura e precipitação média mensal em São Carlos até 2099 - Cenário RCP 4.5.....	43
Figura 9 - Simulação da variação da temperatura e precipitação média mensal em São Carlos até 2099 - Cenário RCP 8.5.....	44
Figura 10 – Posição dos recortes urbanos analisados na cidade de São Carlos	45
Figura 11 – Altitude dos recortes urbanos analisados na cidade de São Carlos.....	46
Figura 12 - Parque do Kartódromo	47
Figura 13 - Parque Linear das Torres.....	48
Figura 14 - Enchente na Praça do Mercado antes da canalização do córrego do Gregório	49
Figura 15 - Praça do mercado atualmente	49
Figura 16 - Vista aérea da FESC.....	50
Figura 17 - FESC	50
Figura 18 - a) pontos de coleta de dados na região do Parque do Kartódromo, b) Sensores instalados	52
Figura 19 - a) pontos de coleta de dados no Parque Linear das Torres, b) Sensores instalados ..	53
Figura 20 - a) pontos de coleta de dados na região da Praça do Mercado, b) Sensores instalados.....	54
Figura 21 - a) pontos de coleta de dados na FESC, b) Sensores instalados.....	55
Figura 22 – Temperatura do ar X Umidade Relativa no período de coleta.....	57
Figura 23 - Equipamentos utilizados para medição	58
Figura 24 - Variação da temperatura do ar.....	66
Figura 25 - Variação da temperatura do ar.....	68
Figura 26 - Variação da umidade relativa do ar	68
Figura 27 - PET x Percepção Térmica	69
Figura 28 – Distribuição das percepções de conforto	70
Figura 29 - Conforto térmico subjetivo, calculado e Satisfação – 10h - 11h	71
Figura 30 - Conforto térmico subjetivo, calculado e Satisfação – 16h - 17h	72
Figura 31 - Variação da Temperatura x UR para o dia 17/12 na Praça do Mercado	73
Figura 32 - Conforto térmico subjetivo, calculado e Satisfação – 19h - 20h	74
Figura 33 - Espacialização dos valores de PET para 10h, 16h e 19h.....	78
Figura 34 - Distribuição da relação entre ZCL e PET.....	80

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classes de Zonas Climáticas Locais	27
Tabela 2 - Valores de propriedades geométricas e de cobertura do solo para zonas climáticas locais	29
Tabela 3 - Alguns índices que têm sido usados em estudos de conforto térmico	33
Tabela 4 - Índice PET como indicador de percepção térmica e estágio de estresse térmico	35
Tabela 5 - Interpretação do índice PET para São Paulo	35
Tabela 6 - Avaliação subjetiva do conforto térmico	37
Tabela 7 - Obtenção de dados para classificação das ZCL	51
Tabela 8 - Número de entrevistas válidas realizadas em cada ponto	57
Tabela 9 - Classificação das Zonas Climáticas Locais.....	61
Tabela 10 - Faixas de Conforto Térmico.....	70
Tabela 11 - Correlação entre o Índice PET e os Parâmetros das ZCL	79

1 Introdução

O processo de urbanização tem causado severas mudanças no ambiente natural e na qualidade de vida em geral. O crescimento das cidades acarreta impactos na qualidade do ar, no solo, na água e, geralmente, causa transformações no clima em escala local. O adensamento urbano com a concentração de construções verticalizadas ou horizontalizadas, a supressão da vegetação natural, a excessiva impermeabilização do solo, a poluição causada pela emissão de gases decorrentes da queima de combustíveis fósseis ou para o consumo energético das indústrias podem resultar em mudanças no clima urbano. Variáveis como a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e os índices de precipitação sofrem alterações, que impactam no equilíbrio climático e, até, contribuem para o aumento da ocorrência de fenômenos como as ilhas de calor urbano em diversas cidades (SANTAMOURIS, 2015; GARTLAND, 2010)

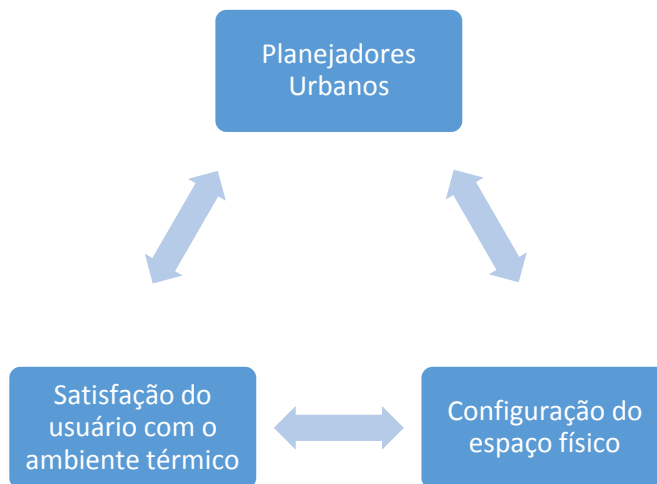
Os relatórios do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2014) têm chamado a atenção para uma piora no quadro climático tanto em escala global, quanto local. Entre os problemas apontados está a ocorrência de ondas de calor, com registros de altas temperaturas nos centros urbanos e, por consequência, aumento dos níveis de estresse térmico nas pessoas.

De forma geral, vêm sendo criadas medidas de incentivo à mitigação e adaptação às mudanças climáticas em todo o mundo, que incluem publicação de cartilhas com diretrizes projetuais incentivando o uso de estratégias de planejamento sensíveis ao clima, estudos sobre a vulnerabilidade das cidades e no âmbito do planejamento urbano, sugerem-se estratégias como a ampliação, preservação e proteção de áreas verdes urbanas, arborização; permeabilização do solo e diminuição das ilhas de calor, visando a melhoria das condições de conforto térmico, com os objetivos de reduzir a incidência de doenças cardiovasculares e estresse (“Carta de recomendações em saúde São Paulo, c40 2011”, 2011).

Estudos como o de Katschner (2010) apontam a melhoria do conforto térmico dos usuários em áreas urbanas como uma das maneiras de mitigar as adversidades climáticas. Jamei (2016) relata a importância do planejamento urbano para mitigar os impactos adversos da mudança climática na saúde pública. O autor coloca a integração entre considerações

climáticas e o desenho das cidades como uma importante ferramenta para a promoção de conforto térmico na escala do pedestre (Figura 1).

Figura 1 - Planejadores urbanos são a peça chave para tornar o ambiente mais adequado aos índices de conforto térmico humano



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Nota-se, assim, que além do conhecimento existente sobre as condições climáticas em macro e meso escala, pesquisas que abordem informações sobre as condições de conforto térmico em microescala e sobre as ações para minimizar os efeitos térmicos provocados pela urbanização são de extrema relevância.

Alguns estudos (OKE, 1981, MIDDEL *et al.*, 2014, WEI *et al.* 2016) apontam a influência da forma urbana no microclima, mostrando que fatores da geometria, como a altura das edificações e largura das vias podem afetar a variação da temperatura e o fluxo do vento, por exemplo, e, conseqüentemente, as condições de conforto térmico ao nível do pedestre.

No entanto, torna-se difícil a implementação de estratégias por parte dos planejadores, uma vez que as cidades estão em grande parte consolidadas e possuem distintas configurações. Assis (2006) e Jamei *et al.* (2016) mostram que o peso das características urbanas no comportamento climático pode variar de acordo com cada situação analisada sobre o ambiente construído. Portanto, é necessário analisar o nível de conforto térmico oferecido em diferentes espaços urbanos abertos e buscar soluções particularizadas que contribuam com informações técnicas ao planejamento espacial das cidades. Uma das formas de avaliar o conforto é a aplicação de índices de conforto.

Nesse contexto, diversos índices destinados a avaliação das condições de conforto térmico têm sido aplicados às cidades no mundo todo, buscando qualificar os espaços públicos abertos. (CHENG *et al.*, 2012; GIVONI *et al.*, 2003; KRUGER; TAMURA, 2015; NG; CHENG, 2012).

Um dos índices mais utilizados pelas pesquisas para avaliar o conforto térmico em áreas urbanas abertas é o PET (*Physiological Equivalent Temperature – PET*), desenvolvido por Hoppe (1999). Alguns estudos, como os de Herrmann e Matzarakis (2011), Lee e Mayer (2018) buscaram relacionar o PET à geometria, mostrando que em grande parte dos casos o desenho urbano pode influenciar no nível de conforto dos usuários.

Segundo Jamei *et al.* (2016), as estratégias mais promissoras na promoção de conforto térmico para os pedestres referem-se à manipulação da geometria urbana e na implementação de áreas verdes. O autor analisou diversos estudos sobre essas temáticas considerando a importância dessas estratégias para a melhoria do microclima e do conforto térmico em diversas cidades. As análises concluíram que a distribuição e disposição dos edifícios afetam a formação de ilhas de calor urbano e as condicionantes térmicas, uma vez que interferem no nível de exposição solar e na intensidade do fluxo de vento.

Assim, se mostra importante que as pesquisas avaliem o nível de conforto térmico nas cidades, bem como forneçam ao planejamento urbano subsídios para melhoria da qualidade dos espaços urbanos.

1.1 Justificativa

O aumento da população urbana vem resultando em um aumento na demanda pela expansão territorial, o que tem afetado de forma direta os padrões de consumo. Entre as principais consequências estão a grave degradação climática e ambiental, a qual influencia a poluição do ar, o aumento do ruído urbano, a redução da qualidade da água, o aumento da temperatura e o estresse térmico dos habitantes das cidades.

As alterações no padrão do clima em cidades brasileiras estão fortemente relacionadas a ocorrências de desastres, como enchentes e problemas de saúde, além de mortes provocadas por ondas de calor. Saldiva e Vormittag (2011) relatam que houve uma

alteração no padrão de clima da cidade de São Paulo, onde as temperaturas máximas vêm batendo recordes desde os anos 90 e as temperaturas mínimas estão ficando cada vez mais elevadas. Além disso, o regime de chuvas também foi alterado, tornando-as mais intensas e frequentes, o que pode ter sido ocasionado pelas ilhas de calor. As chuvas são responsáveis pelas enchentes que aumentam a proliferação de vetores de doenças, como a epidemia de dengue ocorrida em 2008, citada pelos autores, em que o aumento de temperatura aliado a condições precárias de saneamento, facilitam a reprodução do mosquito.

Ribeiro Sobral (2005) analisou a distribuição espacial das ilhas de calor na cidade de São Paulo e comparou com dados sobre mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias e concluiu que nas áreas onde a intensidade da ilha de calor é maior, há um risco maior de morte por tais doenças. Nobre (2011) também relatou que em 2010, em Santos-SP, uma onda de calor com temperaturas chegando a 40°C provocou a morte de mais de 30 idosos.

Givoni *et al.* (2003) enfatizam que elementos como temperatura do ar, radiação solar e vento em espaços abertos podem ser modificados por detalhes no desenho urbano, tais como inserção de elementos que provoquem sombras e possibilitem o aumento da umidade dos espaços abertos em cidades de clima quente e seco, por exemplo. Olgyay (1963) aponta a relação entre os efeitos climáticos e o conforto térmico e mostra que os projetos de arquitetura e urbanismo podem adotar princípios bioclimáticos como orientação solar, topografia, efeitos do vento e modelos de fluxo de ar, propriedades térmicas dos materiais para controlar o microclima.

Abreu-Harbich, Labaki, Matzarakis (2013) mostram, através de simulações, que fatores da geometria urbana como relação h/w e orientação dos edifícios podem influenciar no sombreamento e no fluxo do vento, proporcionando melhoria nas condições de conforto em locais com clima tropical. Os autores citam ainda a importância desse tipo de estudo para o desenvolvimento de diretrizes urbanas responsivas.

Diante do exposto, torna-se evidente a necessidade de se adotar princípios bioclimáticos no planejamento das cidades como solução aos problemas climáticos atuais e futuros, a fim de reduzir o estresse térmico a níveis toleráveis e condizentes com as características climáticas de cada região. (KATZSCHNER, 2010)

Dessa forma, é de fundamental importância compreender como as diferentes configurações do espaço urbano podem provocar alterações na sensação de conforto térmico dos usuários de uma cidade de porte médio. Tendo em vista a necessidade de se promover espaços urbanos que melhorem as condições de saúde da população e contribuam para a redução do consumo energético para condicionamento térmico das edificações, esta pesquisa se reveste de importância por contribuir com o planejamento urbano na formulação de estratégias mais eficientes de ocupação do solo.

1.2 Objetivos

Objetivo geral

O objetivo principal desse trabalho é determinar a influência de parâmetros da configuração urbana no conforto térmico dos usuários.

Objetivos específicos

- Selecionar áreas com diferentes características da forma urbana em cidade de porte médio;
- Estabelecer parâmetros da morfologia urbana em torno de um ponto central em cada área;
- Caracterizar os microclimas de cada fração urbana analisada e as condições de conforto térmico apresentadas;
- Estabelecer relações entre índice térmico PET e os diferentes parâmetros morfológicos observados.

1.3 Estrutura

Esse trabalho está dividido em cinco capítulos, descritos a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: Apresenta uma contextualização sobre a situação da mudança climática e suas implicações para o planejamento urbano em geral e a influência no conforto térmico dos espaços urbanos, a justificativa e os objetivos da pesquisa;

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: A revisão da literatura apresenta conceitos de microclima urbano; uma contextualização sobre o impacto das mudanças climáticas e sua relação com o planejamento urbano; a importância da morfologia urbana para promoção de espaços com mais qualidade; conceitos de conforto térmico e os principais índices de conforto utilizados;

Capítulo 3 – Métodos: apresenta dados sobre a cidade (localização, clima), os critérios de seleção das quatro áreas de estudo e suas descrições, aponta os procedimentos adotados em cada uma das etapas da pesquisa, sendo: a caracterização da morfologia dos recortes urbanos selecionados, as entrevistas e os cálculos do índice de conforto e a satisfação dos usuários com o ambiente térmico, bem como os equipamentos utilizados para as medições;

Capítulo 4 – Resultados: apresenta os resultados encontrados por essa pesquisa, mostrando a classificação realizada em cada uma das quatro áreas analisadas, a sensação de conforto e satisfação dos usuários nessas áreas, bem como o Índice PET encontrado e a sua correlação com a morfologia urbana;

Capítulo 5 – Conclusões: traz uma discussão geral sobre os resultados alcançados, as principais contribuições para o avanço do conhecimento sobre a relação entre clima e morfologia urbana e as sugestões para pesquisas seguintes.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Clima Urbano

Segundo Mills *et al.* (2010) a urbanização é refletida em dois processos: mudanças nos padrões de vida dos seres humanos e, sobretudo, nos padrões de atividades que geram usos distintos da terra urbana, e a transformação física da cobertura natural em uma paisagem urbana. A composição topográfica, os materiais, as características da vegetação e a morfologia urbana produzem coberturas do solo distintas e, assim, otimizam os processos que modificam a atmosfera subjacente das cidades, criando um clima diferente, o qual é designado como clima urbano.

O clima urbano pode ser entendido genericamente como a influência gerada pela urbanização ao clima natural. As alterações ocorridas no meio natural em função de ações antrópicas, bem como a substituição da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, a utilização de materiais com características físicas diferentes das existentes anteriormente (albedo menor, maior condutividade térmica), a remoção de vegetação, aliadas às atividades antropogênicas, contribuem para alterar o ecossistema, impactando nas condições de conforto térmico urbano (SANTAMOURIS, 2015).

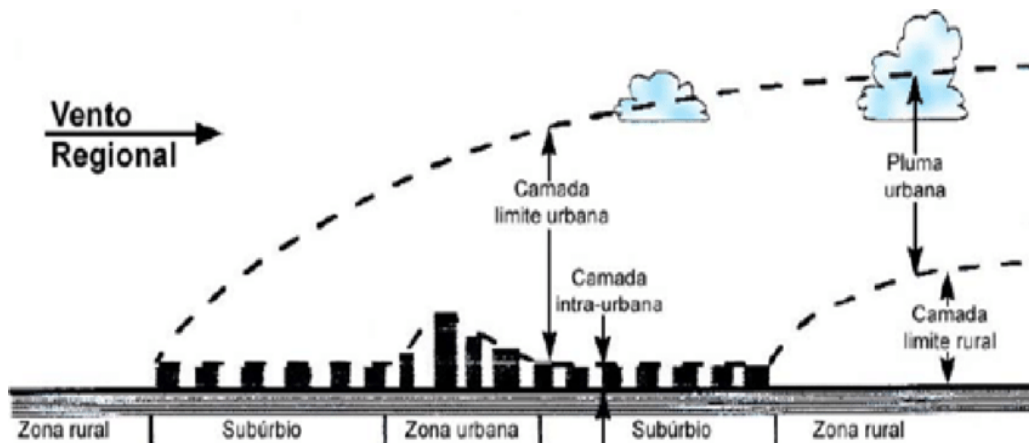
Monteiro (1976) apresenta o clima urbano como uma organização, o Sistema Clima Urbano (S.C.U.), que abrange o clima de determinado espaço e a sua urbanização. O ambiente urbanizado é tido como o núcleo desse sistema que possui elementos conectados e funcionando de maneira instantânea e ininterrupta, implicando em transformações tais quais a ilha de calor e a poluição do ar. O autor divide o sistema em três grupos (ou canais) voltados à percepção humana: conforto térmico, qualidade do ar e impacto meteórico.

O clima pode ser analisado de acordo com diferentes escalas, ou seja, em relação aos fenômenos que agem sobre o clima global (macroclima); sobre unidades intermediárias, como uma cidade (mesoclima) ou sobre unidades menores, como uma rua ou um bairro (microclima) (MENDONÇA, 2007).

Oke (1978) propôs uma divisão em escalas verticais composta por duas camadas distintas: Camada de Cobertura Urbana (*Urban Canopy Layer – UCL*) e Camada de Limite Urbana (*Urban Boundary Layer – UBL*). A UCL se estende do solo até o nível dos telhados,

enquanto a UBL é a sua camada superior, cujas características climáticas são influenciadas pela presença da cidade abaixo (Figura 2).

Figura 2 - Representação da atmosfera urbana, ilustrando as duas camadas de modificação urbana



Fonte: Adaptado de Oke (1978).

Segundo Santamouris, (2015), as mudanças na cobertura da terra na escala regional e local, o aumento do armazenamento de calor pela estrutura urbana, o aumento do calor antropogênico liberado, o arrefecimento evaporativo reduzido e o aumento do calor sensível liberado por edifícios afetam o equilíbrio térmico urbano e contribuem para as temperaturas urbanas mais elevadas em relação ao ambiente rural.

A urbanização levou a uma redução das áreas verdes, a impermeabilização das superfícies urbanas através de pavimentação intensiva e construção de edifícios e ao aumento do calor antropogênico liberado para a atmosfera (SANTAMOURIS, 2015).

Entre os diversos problemas relacionados ao clima urbano, está a formação das Ilhas de Calor Urbano – ICU –as quais são notadas pelo excessivo aumento das temperaturas do ar nas áreas centrais das cidades em relação às do ambiente rural (Figura 3). Evidenciando a comparação com uma ilha, onde o calor da cidade se distingue nitidamente do "mar" fresco da paisagem que a cerca (OKE, 1978).

Landsberg (1981) define as ICU como um reflexo da totalidade das mudanças microclimáticas provocadas por alterações feitas pelo homem na superfície urbana. Esse fenômeno ocorre normalmente nos centros urbanos durante a noite, onde se encontram as áreas mais adensadas construtivamente e, por esta característica, causam o acúmulo de calor. Oke (1981) aponta como principais causas da Ilha de Calor Urbano a poluição do ar, o calor

antropogênico, superfícies impermeabilizadas, propriedades térmicas dos materiais e a geometria da superfície.

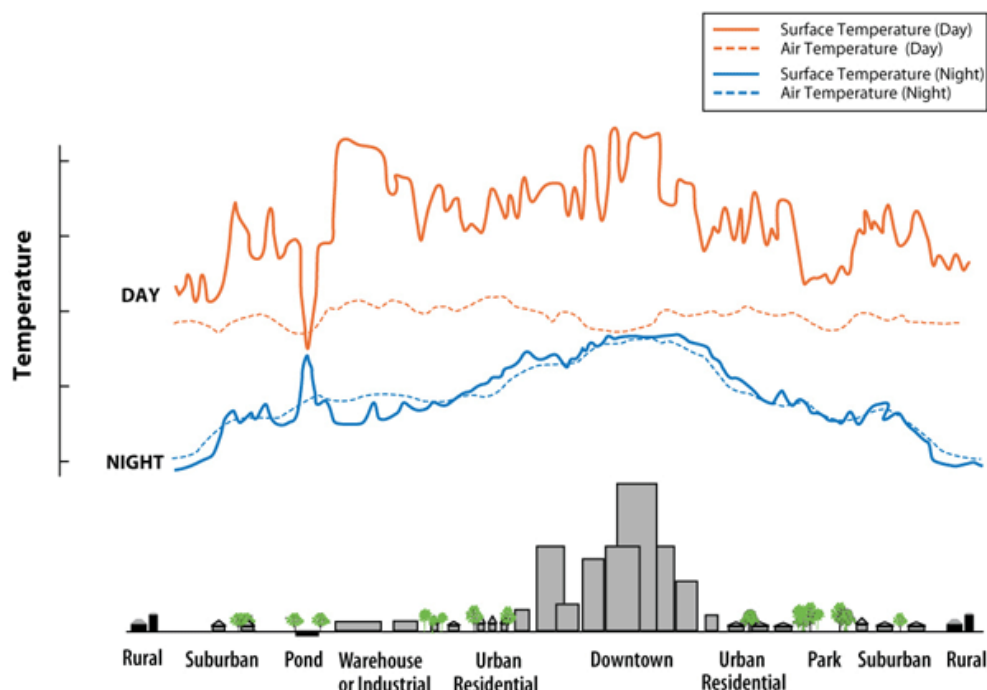


Figura 3 - Perfil da Ilha de Calor Urbano

Fonte: United States Environmental Protection Agency (2017)

Mills *et al.* (2010), afirma que pouco conhecimento climático tem sido aplicado no processo de planejamento espacial, sendo de extrema importância acrescentar tais parâmetros no gerenciamento das cidades. Para isso, é preciso que o conhecimento se torne acessível e apoiado por resultados decorrentes de estudos de caso relevantes em diversas situações urbanas do mundo.

Santamouris (2015) relata que embora exista conhecimento científico sobre os motivos e as características padrões do aquecimento urbano, muitas questões ainda permanecem obscuras, principalmente aquelas relacionadas à coleta, a apresentação e a interpretação das informações científicas relevantes. A não padronização dos procedimentos de pesquisa em clima e planejamento urbano e a transmissão do conhecimento para a sociedade torna a compreensão, a classificação e a comparação dos dados reportados em diversas cidades bastante difíceis, até mesmo impossíveis.

2.2 Planejamento urbano e Mudança Climática

O quinto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014), define mudanças climáticas como alterações no estado do clima que podem ser identificadas

por mudanças na média e/ou na variação das suas propriedades e que persistem durante um longo período.

Mills (2007) realiza uma revisão acerca dos trabalhos que tratam da relação entre as cidades e a mudança climática em todas as escalas. O autor relata a diversidade encontrada nas pesquisas para o conceito de “urbano” e que somente recentemente se passou a identificar os diferentes tipos de paisagens urbanas e seus efeitos para o ambiente.

Na escala das cidades, as variações climáticas podem agravar os problemas existentes nos diferentes sistemas urbanos (água, energia, transporte, etc.), principalmente em países em desenvolvimento, já que esses não possuem uma vulnerabilidade maior em virtude de fatores como a desigualdade social (IPCC, 2014).

Caso não haja alteração nos padrões de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE), a temperatura média global pode sofrer um aumento de 2,6°C a 4,8°C (IPCC, 2014). O aumento de temperatura pode trazer consequências como ocorrências de morte por onda de calor, o aumento de eventos de chuvas intensas, enchentes, que podem ainda disseminar doenças e ocorrência de doenças respiratórias (NOBRE, 2011).

Dessa forma, faz-se necessária a aplicação de estratégias de minimização do calor no planejamento das cidades de forma a adaptar as cidades às mudanças climáticas locais. O desenho urbano sensível ao clima pode ser visto como alternativa de melhoria da qualidade urbana, inclusive contribuindo para que os edifícios necessitem ou não de um resfriamento adicional (EMMANUEL, 2017).

Romero (2000), mostra que as cidades exercem grande influência no equilíbrio térmico entre o homem e o ambiente e, assim, propõe que os espaços urbanos sejam transformados em filtros que controlem os elementos climáticos. A autora apresenta diretrizes bioclimáticas que podem ser adotadas de acordo com as características do clima de cada região, com o intuito de atenuar determinadas variáveis climáticas, proporcionando maior conforto térmico.

As técnicas de mitigação podem ser usadas para compensar o aumento das temperaturas devido a urbanização, reduzir o impacto das fontes de emissão de calor e aumentar o potencial das paisagens da anomalia de temperatura. Tais medidas atuam

alterando o equilíbrio térmico das cidades, aumentando as perdas térmicas e diminuindo os ganhos térmicos (SANTAMOURIS, 2015).

Mills *et al.* (2010) sugerem que a tomada de decisão no planejamento espacial deveria estar apoiada inclusive em mapeamentos climáticos e simulações do comportamento térmico dos espaços urbanos. O autor menciona ainda que dados dessa natureza raramente estão disponíveis.

Diversos estudos envolvendo o uso de entrevistas para avaliar a capacidade de adaptação às mudanças climáticas por parte dos planejadores, especialistas e gestores urbanos estão sendo realizados em vários países. Alguns estudos (ARABADZHIEVA, 2016; PARK, 2015; QIU, 2016), analisaram as políticas de adaptação adotadas na Coreia do Sul, na China e na Bulgária e mostraram que, embora haja preocupação por parte dos planejadores urbanos com as mudanças climáticas, o conhecimento destes sobre como implantar medidas para mitigação e adaptação do ambiente urbano ainda é baixo. Nota-se também a dificuldade do processo de comunicação entre os atores envolvidos na produção e uso do espaço urbano (população, planejadores urbanos, especialistas e gestores urbanos).

No âmbito governamental, a Política Nacional sobre Mudança Climática, criada em 2009 no Brasil e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, aprovado em 2016, colocam as questões climáticas como parte dos objetivos nacionais. Portanto, os Planos Diretores e demais instrumentos reguladores do ordenamento urbano no Brasil devem adotar medidas de mitigação e adaptação climática, visando contribuir para a redução da vulnerabilidade à mudança do clima e o desenvolvimento de cidades resilientes (BRASIL, 2016).

O Plano Diretor da cidade de São Carlos – SP (Lei nº 18.053 de 2016) possui como um dos objetivos estratégicos:

XI - contribuir para mitigação de fatores antropogênicos que contribuem para a mudança climática, inclusive por meio da redução e remoção de gases de efeito estufa, da utilização de fontes renováveis de energia e da construção sustentável, e para a adaptação aos efeitos reais ou esperados das mudanças climáticas (SÃO CARLOS, 2016).

Da mesma forma, outras ferramentas de promoção da política urbana como o Estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257, de 2001, (BRASIL, 2001) e a Lei de parcelamento do solo, Lei Federal nº 6.766, de 1979, (BRASIL, 1979) instituem diretrizes que destacam a

importância da sustentabilidade e qualidade ambiental, mas não garantem a sua promoção, pois tais objetivos estão no âmbito da municipalidade.

Apesar de haver esforços em todas as esferas políticas para que se desenvolvam ações visando a adaptação às mudanças climáticas, não se encontram mecanismos detalhados para garantir efetiva aplicação de dispositivos contribuam com a melhoria do ambiente térmico urbano. Outra dificuldade se refere ao monitoramento dos possíveis resultados das ações propostas pelo poder público ou pela sociedade civil nas cidades, de forma a atestar a eficiência das políticas públicas.

O planejamento urbano tem importância fundamental nesse cenário, uma vez que possibilita a criação e a aplicação de instrumentos que reduzam os impactos climáticos negativos provocados pela construção das cidades e pelas alterações no meio natural. Assim, é necessário que os planejadores incorporem o conhecimento sobre o clima para aprimorar os métodos de intervenção no ambiente urbano e adaptar as cidades às mudanças climáticas, tornando-as termicamente mais confortáveis.

O Painel Brasileiro sobre Mudanças do Clima (2016), traz alguns exemplos de medidas que podem ser adotadas, no âmbito da infraestrutura urbana, visando adaptar as cidades às mudanças climáticas: Criação de espaços verdes para melhorar a drenagem e reduzir o efeito de ilha de calor urbana, construções ecoeficientes com ventilação passiva e o uso de pavimentos permeáveis, entre outros.

Santamouris (2015) analisa e apresenta algumas das principais soluções adotadas como estratégias de mitigação na escala da cidade, como expandir espaços verdes, aumentar a refletância das superfícies urbanas, diminuir a geração de calor antropogênico e usar dissipadores para o excesso de calor urbano. O autor conclui que tais técnicas aplicadas em projetos de grande escala podem diminuir a temperatura ambiente média em 1 à 2K.

Broto; Bulkeley (2013) analisaram as intervenções realizadas em 100 cidades e mostraram que a adoção de tais medidas de arrefecimento do clima urbano apresentou um crescimento a partir da assinatura do protocolo de Kyoto, em 2005. A maior parte das experiências encontradas (31,1%) são desenvolvidas nos sistemas de infraestrutura urbana. No entanto, as experiências que adotam a forma urbana como estratégia são menos frequentes, em virtude de os centros urbanos analisados já estarem consolidados.

A revisão da literatura sobre climatologia urbana desenvolvida no Brasil por Assis (2006) entre os anos de 1995 e 2005, mostra que mudanças climáticas locais também são influenciadas pela produção antropogênica de calor, tanto em áreas temperadas quanto em tropicais. A autora aponta que a configuração geométrica da área e a inércia térmica das superfícies construídas possuem um papel importante na formação do fenômeno da ilha de calor urbana. Cabendo, assim ao planejamento urbano oferecer soluções que favoreçam o conforto térmico e a qualidade do ambiente térmico urbano.

2.3 A influência da morfologia no clima urbano

Diversos estudos analisam a influência que a geometria urbana exerce sobre o clima nas cidades (OKE, 1981; EMMANUEL, FERNANDO, 2007; MIDDEL *et al*, 2014; WEI *et al.*, 2016.), sendo grande parte das pesquisas voltadas a análise da influência de parâmetros urbanos na formação das ilhas de calor urbano.

Pesquisas mostram que diferentes superfícies e materiais também tendem a contribuir de diferentes formas na produção do clima urbano. Materiais como o asfalto escuro presente na pavimentação das cidades possui um baixo albedo, sendo assim, capaz de absorver grande quantidade de energia, aumentando a temperatura de superfície. Por outro lado, materiais com alto albedo refletem a radiação solar recebida, diminuindo a quantidade de energia absorvida.

Tsoka (2017) analisou estratégias para melhoria do microclima em duas áreas centrais de Thessalouniki, na Grécia. O estudo consistiu na simulação de três diferentes cenários: a situação real do local, a substituição dos pavimentos convencionais (baixo albedo) por pavimentos frios (albedo mais alto) e incremento de vegetação. Os resultados mostram a diminuição de até 10 °C na temperatura de superfície e 7°C na temperatura do ar no segundo cenário em relação a situação real, durante o verão. O terceiro cenário reduziu cerca de 15°C na temperatura de superfície do pavimento asfáltico devido ao sombreamento.

Gonzalez e Krüger (2016) simularam a alteração dos materiais de superfície nos cânions de oito cidades brasileiras em diferentes zonas bioclimáticas e analisaram a influência da mudança de albedo na temperatura e no conforto dos usuários. Os resultados mostraram que a adoção de albedos altos gera uma pequena redução da temperatura, porém

notou-se um aumento da radiação refletida sobre o pedestre, piorando as condições de conforto.

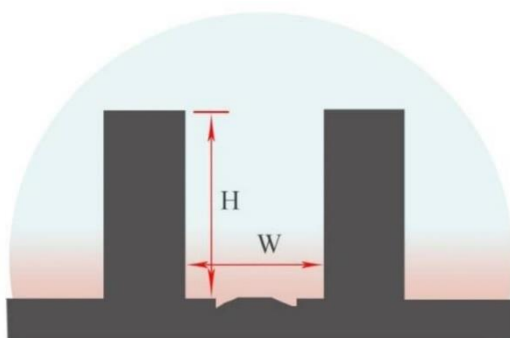
É necessário, portanto, analisar como cada fator influencia na realidade urbana, considerando que um mesmo parâmetro pode afetar positivamente em uma dada situação e negativamente em outra, dependendo de cada configuração espacial.

A refletância no interior do cânion sofre interferência também da sua própria geometria, visto que esta regula a incidência solar nas superfícies verticais e horizontais. A geometria do cânion pode ser analisada de acordo com o fator de visão do céu, a relação H/W e a rugosidade (NAKATA-OSAKI, 2016).

Oke (1987) descreve o Fator de Visão do Céu (FVC) como a relação entre a quantidade de céu visível de um determinado ponto e a quantidade de céu potencialmente disponível. Dessa forma, qualquer elemento na camada intraurbana que obstrua uma fração do céu a partir do plano do observador representa uma obstrução no fluxo de energia (SOUZA *et al.* 2010). Por essa razão, Oke (1981) considera o FVC como a medida apropriada da geometria que favorece ou desfavorece a incidência da radiação solar de um local, visto que permite apontar a quantidade de céu livre de obstrução. O valor do FVC varia de 0 a 1, sendo 0 para a máxima porção de céu aberto.

A relação H/W pode ser entendida como a proporção entre a altura e largura de um cânion urbano (Figura 4). Nakata-Osaki (2016) estudou a influência da geometria urbana nas ilhas de calor e os resultados mostram que a intensidade da ilha de calor urbano tende a aumentar a medida em que se aumenta o valor da relação H/W . A autora conclui ainda que, cânions com menor rugosidade resultam em valores de máxima ICU duas vezes maiores que o de maior rugosidade.

Figura 4 - Relação H/W em um cânion urbano



Fonte: Nakata-Osaki (2016)

O estudo de Tsoka (2017) mostrou que a substituição de materiais convencionais por materiais frios tem menor impacto na temperatura de cânions com altos valores de H/W, devido à redução do acesso solar e limitação do tempo de exposição à luz solar direta.

Achour-Younsi e Kharrat (2016) analisaram a variação no microclima e no conforto térmico em cenários com a combinação de diferentes valores de relação H/W, FVC e orientação das vias em condições de clima subtropical mediterrâneo. Os autores concluíram que uma maior proporção de H/W apresentava melhores condições de conforto térmico.

Além da forma urbana, espaços verdes como parques e áreas arborizadas resultam no resfriamento da temperatura do ar na altura do pedestre. Ali, Patnaik (2018) salientam que, embora elementos construtivos possam gerar sombreamento, espécies arbóreas contribuem com o incremento na umidade do ar pela evapotranspiração. Segundo o trabalho desenvolvido pelos autores, uma área arborizada reduz em 6,7°C a temperatura do ar quando comparada com uma área aberta de pastagem. Além disso, comprovaram também a relação entre a percepção térmica dos usuários e a temperatura de globo, sendo que o aumento da Tg aumenta a probabilidade de percepções mais quentes e diminui a probabilidade da escolha de percepções mais amenas.

Dessa forma, é importante observar que a adoção de medidas projetuais que considerem a configuração dos elementos do espaço urbano e a criação de microclimas podem contribuir para a melhoria das condições de conforto térmico dos usuários nos espaços externos.

2.3.1 Zonas Climáticas Locais

Utilizando a geometria urbana como parâmetro de caracterização, Stewart e Oke (2012) desenvolveram um sistema de classificação para paisagens urbanas e rurais. O sistema, chamado de Zonas Climáticas Locais (ZCL – em inglês *Local Climate Zone (ZCL)*), é dividido em 17 classes, das quais 15 são definidas pela geometria e cobertura da superfície e 2 por materiais de construção e emissões de calor antropogênico.

A Tabela 1 mostra cada uma das classes e a sua descrição. As classes de 1 a 10 baseiam-se nas tipologias das construções (edifícios altos, médios ou baixos, espaços abertos ou compactos) e as classes de A a G retratam as tipologias de cobertura do solo (paisagens

com densa ou esparsa arborização, plantas baixas, solo exposto, com areia ou pavimentado). A classificação contempla ainda atributos que são variáveis na cobertura do solo (características sazonais como neve, por exemplo).

Tabela 1 - Classes de Zonas Climáticas Locais





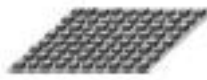
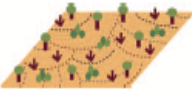




Tipologias de construção	Definição	Tipos de cobertura do solo	Definição
1. Compacto de edifícios altos 	Densa mistura de edifícios altos. Poucas ou nenhuma árvores. A cobertura do solo na maior parte é pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro	A. Árvores adensadas 	Paisagem densamente arborizada de decíduas e / ou perenes. A cobertura do solo na maior parte é permeável (plantas baixas). A função da zona é a floresta natural, o cultivo de árvores, ou parque urbano.
2. Compacto de edifícios médios 	Densa mistura de edifícios médios (3-9 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. A cobertura do solo na maior parte é pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro	B. Árvores dispersas 	Paisagem levemente arborizada de árvores decíduas e / ou perenes. A cobertura do solo na maior parte é permeável (plantas baixas). A função da zona é a floresta natural, o cultivo de árvores, ou parque urbano.
3. Compacto de edifícios baixos 	Densa mistura de edifícios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo na maior parte pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.	C. Arbustos 	Arranjo aberto de arbustos, árvores lenhosas e curtas. A cobertura do solo na maior parte é permeável (solo exposto ou areia). A função da zona é cerrado natural ou a agricultura.
4. Espaço aberto de edifícios altos 	Arranjo aberto de edifícios altos. Abundância de cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores espalhadas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.	D. Plantas baixas 	Paisagem com grama ou plantas herbáceas / culturas. Poucas ou nenhuma árvores. A função da zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.
5. Espaço aberto de edifícios médios 	Arranjo aberto de edifícios médios (3-9 pavimentos). Abundância de cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores espalhadas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.	E. Rocha exposta ou pavimento 	Paisagem com cobertura de rocha exposta ou pavimento. Poucas ou nenhuma árvores ou plantas. A função da zona é deserto natural (rocha) ou o transporte urbano.

Tabela 1 - Classes de Zonas Climáticas Locais (Continuação)

Tipologias de construção	Definição	Tipos de cobertura do solo	Definição
<p>6. Espaço aberto de edifícios baixos</p> 	<p>Arranjo aberto de edifícios baixos (1-3 pavimentos). Abundância de cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores espalhadas). Materiais de construção de madeira, tijolo, pedra, telha e concreto.</p>	<p>F. Solo exposto ou areia</p> 	<p>Paisagem com solo exposto ou areia. Poucas ou nenhuma árvores ou plantas. A função da zona é deserto natural ou a agricultura.</p>
<p>7. Compacto leve de edifícios baixos</p> 	<p>Densa mistura de edifícios de um pavimento. Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo compactado. Materiais de construção leves (por exemplo, madeira, palha, metal corrugado).</p>	<p>G. Água</p> 	<p>Corpos d'água grandes e abertos, tais como mares e lagos, ou pequenos corpos, tais como rios, reservatórios e lagoas</p>
<p>8. Grandes edifícios de baixa elevação</p> 	<p>Arranjo aberto de grandes edifícios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvores. Cobertura do solo na maior parte pavimentada. Materiais construção de aço, concreto, metal e pedra.</p>	<p>PROPRIEDADES VARIÁVEIS DA COBERTURA DO SOLO. Propriedades de cobertura do solo variáveis ou efêmeras que mudam significativamente com padrões sinóticos tempo, as práticas agrícolas e / ou ciclos sazonais.</p>	
<p>9. Construções esparsas</p> 	<p>Arranjo disperso de pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores espalhadas).</p>	<p><i>b. Árvores nuas</i></p>	<p>Árvores desfolhadas (por exemplo, inverno). Aumento do fator de visão do céu. Albedo reduzido.</p>
		<p><i>s. Cobertura de neve</i></p>	<p>Cobertura de neve > 10 cm de profundidade. Baixa admitância. Albedo elevado.</p>
<p>10. Indústria pesada</p> 	<p>Low-rise e midrise estruturas industriais (torres, tanques, pilhas). Poucas ou nenhuma árvores. cobertura da terra na maior parte pavimentada ou hard-embalados. Metal, aço e materiais de construção de concreto.</p>	<p><i>d. Solo seco</i></p>	<p>Solo ressequido. Baixa admitância. Razão de Bowen alta. Albedo elevado.</p>
		<p><i>w. Solo molhado</i></p>	<p>Encharcamento do solo. Alta admitância. Razão de Bowen baixa. Albedo reduzido.</p>

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012)

Cada ZCL deve ter o diâmetro de 400m a 1000m (ou seja, raio de 200m a 500m), no entanto, embora se possa fazer uma delimitação física dessas zonas, as características microclimáticas são contínuas, ou seja, a temperatura do ar em uma ZCL se mistura

gradualmente a temperatura em outra ZCL, causando transições térmicas e não uma quebra no limite da zona (Stewart e Oke, 2012).

A identificação de cada zona climática é realizada através de indicadores como: fator de visão do céu (FVC), relação H/W, porcentagem de áreas construídas, permeáveis e impermeáveis, altura dos elementos de rugosidade e classe de rugosidade (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de propriedades geométricas e de cobertura do solo para zonas climáticas locais

ZCL	Fator de Visão do Céu	Relação H/W	Fração de Superfície Edificada	Fração de Superfície Impermeável	Fração de Superfície Permeável	Altura dos Elementos de Rugosidade	Classe de Rugosidade
ZCL 1	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	< 10	> 25	8
ZCL 2	0.3–0.6	0.75–2	40–70	30–50	< 20	10–25	6–7
ZCL 3	0.2–0.6	0.75–1.5	40–70	20–50	< 30	3–10	6
ZCL 4	0.5–0.7	0.75–1.25	20–40	30–40	30–40	>25	7–8
ZCL 5	0.5–0.8	0.3–0.75	20–40	30–50	20–40	10–25	5–6
ZCL 6	0.6–0.9	0.3–0.75	20–40	20–50	30–60	3–10	5–6
ZCL 7	0.2–0.5	1–2	60–90	< 20	<30	2–4	4–5
ZCL 8	>0.7	0.1–0.3	30–50	40–50	<20	3–10	5
ZCL 9	> 0.8	0.1–0.25	10–20	< 20	60–80	3–10	5–6
ZCL 10	0.6–0.9	0.2–0.5	20–30	20–40	40–50	5–15	5–6
ZCL A	<0.4	>1	<10	<10	>90	3–30	8
ZCL B	0.5–0.8	0.25–0.75	<10	<10	>90	3–15	5–6
ZCL C	0.7–0.9	0.25–1.0	<10	<10	>90	<2	4–5
ZCL D	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3–4
ZCL E	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1–2
ZCL F	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<0.25	1–2
ZCL G	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	–	1

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012)

Stewart e Oke (2012) alertam, no entanto, que nem sempre os parâmetros coletados terão exata correspondência com as ZCL estabelecidas, sendo necessário adaptar a classificação à realidade.

Alexander e Mills (2014) utilizaram o mapeamento de ZCL para estruturar a análise das ilhas de calor urbano em Dublin e concluíram que tal metodologia se mostrou eficiente para mapear o padrão e a magnitude das ICU em toda a cidade, de acordo com cada zona climática, sendo capaz de explicar a variação intra-urbana. Os autores mostram que, através do padrão da ZCL, é possível fazer inferências sobre a temperatura em outras regiões da cidade, mesmo sem observações. No entanto, Perera e Emmanuel (2016), ressaltam a natureza reducionista desse sistema de classificação, não sendo capaz de capturar todas as

nuances do crescimento urbano. Os autores apontam para a necessidade de customização local, realizada através de subclassificações.

Uma importante ferramenta utilizada em diversas pesquisas que adotam a classificação das ZCL é o *World Urban Database and Access Portal Tools* (WUDAPT)¹, uma plataforma criada para compartilhamento de dados urbanos para estudos climáticos. O site oferece ferramentas para que o pesquisador caracterize cidades através da classificação das ZCLs e os disponibilize para que seja possível o uso em outros estudos ou a comparação entre eles. Mills *et al.* (2015) salientam que o diferencial do WUDAPT está no uso de uma metodologia consistente para a aquisição de dados urbanos; a utilização de dados e software disponíveis gratuitamente e o envolvimento de uma rede de especialistas urbanos.

Grande parte dos estudos envolvendo ZCL objetivam analisar a formação e magnitude das ICU ou as variações de temperatura entre as zonas climáticas (ALEXANDER; MILLS, 2014; GAL; SKARBIT; UNGER, 2016; MIDDEL *et al.*, 2014), recentemente algumas pesquisas têm incorporado esse sistema de classificação à análise do conforto térmico urbano, evidenciando que as diferentes configurações urbanas podem afetar tanto o microclima quanto as condições de conforto.

Villadiego e Dabat (2014) apresentam o estudo realizado em clima tropical, na cidade de Barranquilla – Colômbia. Os autores identificaram a sensação térmica, a satisfação e a preferência de usuários em 5 diferentes ZCL.

Unger, Skarbit e Gál (2018) analisaram o conforto térmico dos usuários em diferentes espaços ao ar livre em Szeged, na Hungria. O estudo foi realizado em dois períodos (13h – 14h e 2h após o pôr do sol), durante três estações (primavera, verão, outono) e mostrou que durante o dia as zonas menos construídas são mais agradáveis termicamente, enquanto a noite as melhores condições são oferecidas pelas áreas mais construídas.

¹ <http://www.wudapt.org/>

2.4 Conforto Térmico Urbano

De acordo com a ASHRAE (2005, apud LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), o conforto térmico é definido como “a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. A sensação de conforto térmico está relacionada com a troca de calor entre o corpo e o meio físico, seja em ambientes internos ou externos.

Os seres humanos são considerados homeotérmicos, ou seja, possuem a capacidade de manter a temperatura corporal constante. Esse processo, chamado termorregulação se dá através do equilíbrio entre a energia produzida pelo corpo humano, chamada de metabolismo, e a energia dissipada por radiação, condução ou convecção (OKE, 1978). Segundo Lamberts; Dutra; Pereira (2014), se há um equilíbrio das trocas de calor a que o corpo é submetido e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certo limite, então o homem sente conforto térmico.

Grande parte das pesquisas sobre conforto térmico trabalha com avaliação dos espaços internos, a preocupação científica em analisar espaços ao ar livre é recente e envolve diferentes condicionantes, como a geometria urbana, a pavimentação, a ventilação, a radiação solar incidente, a vegetação, entre outras, além das variáveis microclimáticas.

Visando subsidiar a tomada de decisões por parte dos planejadores urbanos, o Projeto *Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces* (RUROS) analisou o conforto térmico em espaços abertos de 7 diferentes cidades da Europa. Os resultados mostram que o nível de conforto ultrapassa 75% ao longo do ano nos locais analisados. A investigação mostrou também a relevância da adaptação para a percepção térmica dos usuários, ou seja, fatores físicos e psicológicos podem afetar o conforto térmico. De acordo com Nikolopoulou e Lykoudis (2006), as experiências recentes e as expectativas dos usuários desempenham um papel importante e são responsáveis por uma variação acima de 10°C na neutralidade térmica, e variações nas temperaturas.

Krüger *et al.* (2012), analisou a sensação térmica de moradores de Glasgow, Reino Unido, localizada em região temperada, comparando respostas obtidas por meio de entrevistas estruturadas e índices de conforto. A mesma pesquisa reforça a importância do estudo da sensação de conforto térmico para o planejamento climaticamente adequado de

áreas urbanas. Conhecendo as preferências térmicas da população, é possível criar espaços urbanos mais atrativos e adequados, fazendo com que o planejamento urbano seja um agente facilitador do uso desses espaços.

Em Hong Kong, Cheng *et al.* (2012), analisaram o conforto dos usuários em ambientes urbanos e os resultados mostram que a mudança da velocidade do vento e as condições da radiação solar têm influências significativas na sensação térmica, especialmente no verão. Salientou-se a necessidade de se desenvolver mais pesquisas na área em outros locais e diferentes climas, visando coletar os dados de forma abrangente e encontrar uma maneira de unificá-los.

No entanto, Johansson *et al.* (2014) mostram a dificuldade de se comparar diferentes estudos. Segundo os autores, há uma grande variedade de métodos utilizados nos estudos de conforto térmico em áreas urbanas, dificultando a comparação entre eles, sendo necessário se criar uma padronização e orientação sobre como realizar pesquisas de campo em ambientes externos. O trabalho traz ainda importantes contribuições para essa temática, a medida em que apresenta as principais normas, instrumentos e índices utilizados na investigação do conforto térmico.

2.4.1 Índices de conforto

O estudo do conforto térmico visa analisar e estabelecer as condições necessárias à satisfação do homem permitindo-o sentir-se termicamente confortável nos diversos ambientes de trabalho ou lazer.

De acordo com Blazejczyk; Epstein, (2012), ao longo do último século, mais de cem índices de conforto térmico foram criados, sendo que a maioria deles foi desenvolvida para avaliar a sensação humana em ambientes internos.

Monteiro e Alucci (2007) realizaram um estudo sobre o estado da arte dos índices de conforto térmico usados em espaços abertos. O trabalho considerou 33 índices, baseados em 24 diferentes modelos e concluiu que a intenção inicial era que os índices empíricos apresentassem uma validade universal, no entanto, os mesmos apresentam resultados significativos somente quando empregados a situações específicas em que foram determinados. No entanto, os índices baseados em modelos analíticos levam a respostas mais

universais. Há, ainda, a abordagem adaptativa que leva em consideração a adaptação dos indivíduos a determinados climas, porém, essa ainda é menos usada para estudos de conforto térmico em espaços abertos.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos principais índices utilizados para ambientes externos e internos e a descrição das variáveis consideradas em cada um deles.

Tabela 3 - Alguns índices que têm sido usados em estudos de conforto térmico

Índice	Referencias principais	Descrição
Voto médio previsto (PMV)	ASHRAE 55 (2010) ASHRAE (2001), ISO 7730 (2005), Blazejczyk <i>et al.</i> (2012), McIntyre (1980)	Principalmente para interiores; inclui todas as variáveis meteorológicas que afetam o conforto térmico (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e temperatura radiante média), bem como as variáveis pessoais (vestuário e atividade) (aplica-se tanto ao PMV como ao SET)
Temperatura efetiva padrão (SET)	ASHRAE (2001), Blazejczyk <i>et al.</i> (2012), McIntyre (1980)	
Temperatura efetiva (ET)	ASHRAE (2001), Blazejczyk <i>et al.</i> (2012) McIntyre (1980)	Principalmente para interiores; só leva em consideração as quatro variáveis meteorológicas, enquanto o vestuário e a atividade são padronizados para sedentarismo interior
Temperatura percebida (PT)	VDI 3787 (2008), Blazejczyk <i>et al.</i> (2012)	Com base na equação PMV, mas pode ser usado para áreas externas
Temperatura fisiologicamente equivalente (PET)	VDI 3787 (2008), Blazejczyk <i>et al.</i> (2012), Höppe (1999)	Destinado ao ambiente externo; só usa quatro variáveis como ET; vestuário e atividade são padronizados para indoor sedentário.
Índice de clima térmico universal (UTCI)	Blazejczyk <i>et al.</i> (2012), Havenith <i>et al.</i> (2011)	Destinado ao exterior; nenhuma informação sobre o nível de isolamento vestuário da população pesquisada é necessária. Condição de referência para a atividade: taxa metabólica de 135 W / m ² e uma velocidade de caminhada de 1,1 m/s

Fonte: Adaptada de Johansson *et al.* (2014)

Para avaliar a influência do clima no organismo humano é necessário considerar todos os parâmetros térmicos. Dessa forma, índices que não consideram a fisiologia térmica, devem ser usados somente em situações específicas, já que possuem limitações (HOPPE, 1999).

Johansson *et al.* (2014), analisou 26 artigos publicados de 2001 a 2012 e concluiu que a maioria das pesquisas estudadas utilizou o índice PET como ferramenta de avaliação do conforto térmico.

2.4.2 Índice Temperatura Equivalente Fisiológica (*Physiological Equivalent Temperature* – PET)

Segundo Hoppe (1999), a *Physiological Equivalent Temperature* – PET – é a temperatura do ar que, em um ambiente interno, sem vento e radiação solar, o ganho de calor do corpo humano está equilibrado com a mesma temperatura da pele e do núcleo como em condições iguais às de avaliação.

O índice PET é utilizado por muitas pesquisas para avaliação do nível de conforto térmico em espaços ao ar livre (SHIMAKAWA, BUENO-BARTHOLOMEI, 2009) e outras, além disso, buscam relacioná-lo a variáveis climáticas a fim de propor melhorias nas condições de conforto à medida em que se alteram condições climáticas ou a configuração urbana (JOHANSSON, 2006,).

Krüger *et al.* (2012) compararam os resultados obtidos pela aplicação de índices de conforto térmico (PMV e PET) ao resultado da sensação térmica declarada pelos entrevistados e identificou que o índice PET foi o que mais se aproximou das respostas dadas pelos entrevistados, sugerindo a aplicação do mesmo para o planejamento urbano.

Krüger e Drach (2017) investigaram a influência da geometria urbana na sensação térmica de usuários de espaços ao ar livre na cidade do Rio de Janeiro. Os autores concluíram que a geometria urbana pode modificar a sensação de conforto dependendo da densidade construída do ambiente, pois é um fator que pode ser utilizado como estratégia de combate ao aquecimento excessivo de determinadas áreas da cidade ao nível do pedestre.

Müller; Kuttler e Barlag, (2014) avaliaram a influência de diferentes medidas de adaptação no conforto de usuários e concluíram que estratégias como a criação de corredores de ventilação nas camadas intraurbanas, que possam aumentar a velocidade do vento são as melhores opções para reduzir o valor de PET. Os autores recomendam ainda a criação de parques urbanos e espaços arborizados que permitam a circulação de vento, já que tanto o sombreamento quanto a umidade do ar otimizada pela evapotranspiração reduzem o PET.

Minella, Rossi e Krüger (2009) analisaram a influência do FVC no nível de conforto térmico de uma rua de Curitiba. Os autores avaliaram dois pontos com diferentes FVC e concluíram que este não pode ser considerado, isoladamente, fator determinante para os

níveis de conforto. Porém, destacam a importância de se considerar características como altura das edificações, largura das vias e orientação no ganho de radiação solar, influenciando nos níveis de conforto térmico.

Matzarakis e Amelung (2008) utilizaram o índice PET para avaliar como as mudanças climáticas podem afetar o conforto térmico, comparando dados de 1961 a 1990 com os dados de cenários propostos pelo IPCC e concluíram que a consequência dos efeitos climáticos sobre o conforto dos usuários é pior do que o esperado, já que esta vai além do aumento de temperatura, produzindo condições de forte estresse térmico por calor em muitas regiões do mundo com PET superior a 35°C, podendo afetar a saúde e o bem-estar da população mundial.

Matzarakis e Mayer (1996) afirmam que o PET pode fornecer informações sobre a percepção térmica e o nível de estresse térmico (Tabela 4), podendo ser calculado um valor de temperatura PET específico para cada usuário ou um valor médio para um determinado grupo de pessoas.

Tabela 4 - Índice PET como indicador de percepção térmica e estágio de estresse térmico

PET	Percepção térmica	Grau de estresse fisiológico
$\leq 4^{\circ}\text{C}$	Muito frio	Estresse por frio extremo
$4^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 8^{\circ}\text{C}$	Frio	Estresse por frio forte
$8^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 13^{\circ}\text{C}$	Frio moderado	Estresse por frio moderado
$13^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 18^{\circ}\text{C}$	Levemente frio	Estresse por frio leve
$18^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 23^{\circ}\text{C}$	Confortável	Sem estresse térmico
$23^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 29^{\circ}\text{C}$	Levemente quente	Estresse por calor leve
$29^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 35^{\circ}\text{C}$	Calor moderado	Estresse por calor moderado
$35^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 41^{\circ}\text{C}$	Quente	Estresse por calor forte
$> 41^{\circ}\text{C}$	Muito quente	Estresse por calor extremo

Fonte: adaptado de Matzarakis & Mayer (1996)

Monteiro e Alucci (2011) apresentam a calibração de diversos índices de conforto para espaços abertos. A pesquisa foi realizada na cidade de São Paulo – SP e os valores de referência para o índice PET são reproduzidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Interpretação do índice PET para São Paulo

PET	Percepção térmica
$\leq 4^{\circ}\text{C}$	Muito frio
$4^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 12^{\circ}\text{C}$	Frio
$12^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 18^{\circ}\text{C}$	Pouco frio
$18^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 26^{\circ}\text{C}$	Neutra
$26^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 31^{\circ}\text{C}$	Pouco calor
$31^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 43^{\circ}\text{C}$	Calor
$> 43^{\circ}\text{C}$	Muito Calor

Fonte: Monteiro e Alucci (2010)

Ainda no Brasil, Hirashima; Assis e Ferreira (2011) realizaram a calibração do índice PET para espaços abertos em Belo Horizonte – MG.

Brusantin e Fontes (2009) analisaram o conforto térmico de usuários em espaços públicos na cidade de Bauru – SP utilizando entrevistas e medições e compararam o conforto térmico real ao calculado (adotando como índices o PMV e o PET) e concluíram que houve diferenças significativas entre estes, já que os aspectos qualificadores do espaço tais como arborização, bancos, áreas ajardinadas entre outras contribuem para a avaliação positiva na sensação e satisfação térmica. Labaki *et al.* (2012) realizaram a análise do conforto térmico em ruas de pedestre nas cidades de Campinas, Bauru e Presidente Prudente, no interior do Estado de São Paulo, e concluíram que os usuários, em tempo quente, são mais tolerantes à espaços de permanência arborizados do que à espaços de passagem.

2.4.3 Índices subjetivos de conforto térmico

Além dos índices objetivos, as pesquisas consideram também índices subjetivos, que através de modelos de questionários investigam o estado térmico do usuário. Comumente os estudos realizam as pesquisas objetivas paralelamente às subjetivas e posteriormente buscam correlacioná-las, como nos estudos analisados por Johansson *et al.* (2014). Outros ainda buscam avaliar a adaptação psicológica como uma ferramenta de planejamento urbano (NIKOLOPOULOU; STEEMERS, 2003).

A Tabela 6 apresenta um resumo de questionários subjetivos de acordo com diferentes padrões e parâmetros analisados. As questões apresentadas em cada questionário para descrever o estado térmico do usuário são avaliadas por uma escala que pode variar de 2 a 9 pontos.

Tabela 6 - Avaliação subjetiva do conforto térmico

Parâmetro do estado térmico	Padrão	Pergunta da entrevista	Escala de medição
Percepção térmica	ISO 10551 (1995)	'Como você está se sentindo agora?'	Escala de 7 pontos: frio (-3), fresco (-2), ligeiramente frio (-1), neutro (0), ligeiramente quente (+1), morno (+2) e quente (+3) ou escala de 9 pontos: além dos outros 'Muito frio' (-4) e 'Muito quente' (+4) (principalmente para uso em ambientes extremos)
	ASHRAE 55 (2010)	Qual é a sua sensação térmica geral?	Escala de percepção térmica simétrica de 7 pontos (igual à redação da ISO 10551) (frequentemente referida como a escala ASHRAE de 7 pontos)
Conforto térmico (avaliação afetiva)	ISO 10551 (1995)	'Você acha este ambiente...?'	4 pontos: confortável (0) como o ponto de origem seguido de um pouco desconfortável (1), desconfortável (2), muito desconfortável (3) 5 pontos: extremamente desconfortável (4)
Preferência térmica	ISO 10551 (1995)	'Indique como você preferiria que estivesse agora'	7 pontos: muito frio (-3), frio (-2), ligeiramente frio (-1), nem quente, nem frio (0), um pouco quente (+1), quente (+2) e muito quente (+3)
	McIntyre (1980)	Gostaria que fosse...?	3 pontos: frio (-1), nenhuma alteração (0) e mais quente (+1)
Aceitação pessoal	ISO 10551 (1995)	"Pessoalmente, esse ambiente é para mim.."	Declaração de duas categorias: aceitável em vez de inaceitável (0) e inaceitável em vez de aceitável (1) ou Escala contínua: claramente aceitável, apenas aceitável, apenas inaceitável e claramente inaceitável
	ASHRAE 55 (2010)	Quão satisfeito você está com a temperatura no seu espaço?	7 pontos: muito satisfeito (+3) e muito insatisfeito (-3) com neutro (0) no meio (votos de 0 a +3 são considerados aceitáveis)
Tolerância pessoal	ISO 10551 (1995)	A temperatura está...	5 pontos: perfeitamente tolerável (0), ligeiramente difícil de tolerar (1), bastante difícil de tolerar (2), muito difícil de tolerar (3) e intolerável (4)

Fonte: Adaptada de Johansson *et al.* (2014)

A norma ISO 7730 considera que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando não mais do que 10% dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis.

3 Método

Para identificar a relação entre configuração urbana e conforto térmico ao nível do pedestre, a pesquisa propõe um estudo microclimático e levantamento das condições de conforto térmico real e calculado em São Carlos, cidade de porte médio do Estado de São Paulo. Para isso, foram desenvolvidas as seguintes etapas metodológicas, também sintetizadas pelo fluxograma da Figura 5:

- 1 Revisão bibliográfica focada em estudos climáticos urbanos;
- 2 Definição das áreas de estudo;
- 3 Classificação física das áreas de acordo com a proposta de Stewart & Oke (2012);
- 4 Instalação de pontos fixos de coleta de dados (temperatura e umidade do ar) para a caracterização microclimática das áreas;
- 5 Aplicação de entrevistas com usuários para avaliação subjetiva do conforto térmico humano e coleta de variáveis individuais (idade, peso, altura, MET, CLO);
- 6 Coleta de dados microclimáticos na altura do pedestre para cálculo do índice de conforto (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura de globo);
- 7 Cálculo do índice de conforto térmico (PET);
- 8 Espacialização do conforto térmico através de mapas de interpolação;
- 9 Análise das informações sobre a configuração do desenho urbano e a verificação sobre a existência de uma correlação com o conforto térmico dos cidadãos.

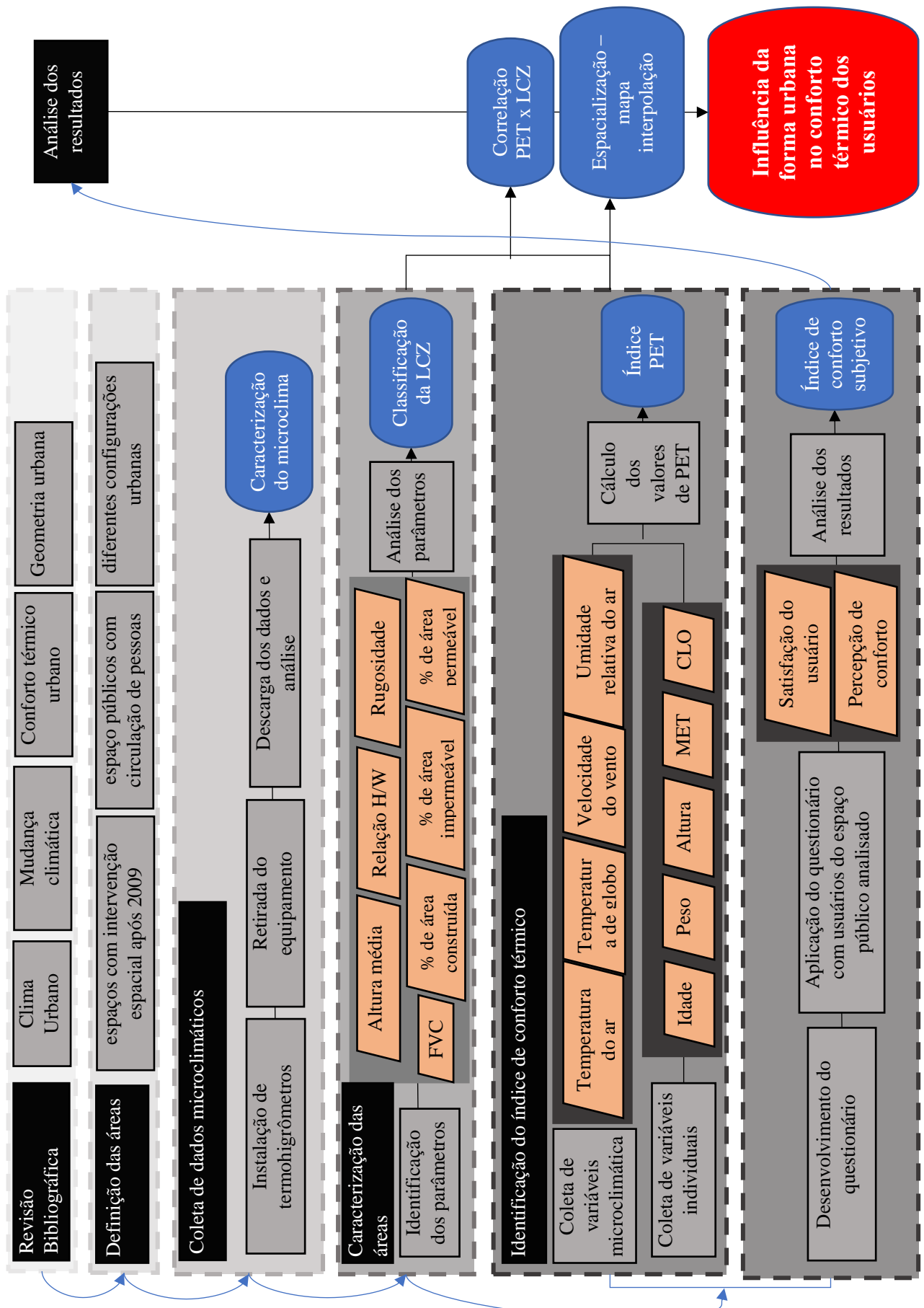


Figura 5 - Processo metodológico

3.1 Definição das áreas de estudo

3.1.1 São Carlos - SP

O município de São Carlos - 22°01'04" (latitude sul) e 47°53'27" (longitude oeste) - está localizado no interior do estado de São Paulo, a cerca de 228km da capital e sua altitude é 856m acima do nível do mar. De acordo com a classificação de Köppen - Geiger o clima é definido como Cwa (clima subtropical/clima tropical de altitude). A temperatura média anual é 19,6 °C e a precipitação 1512mm (SÃO CARLOS, 2018). A Figura 6 mostra a localização da cidade no estado de SP.

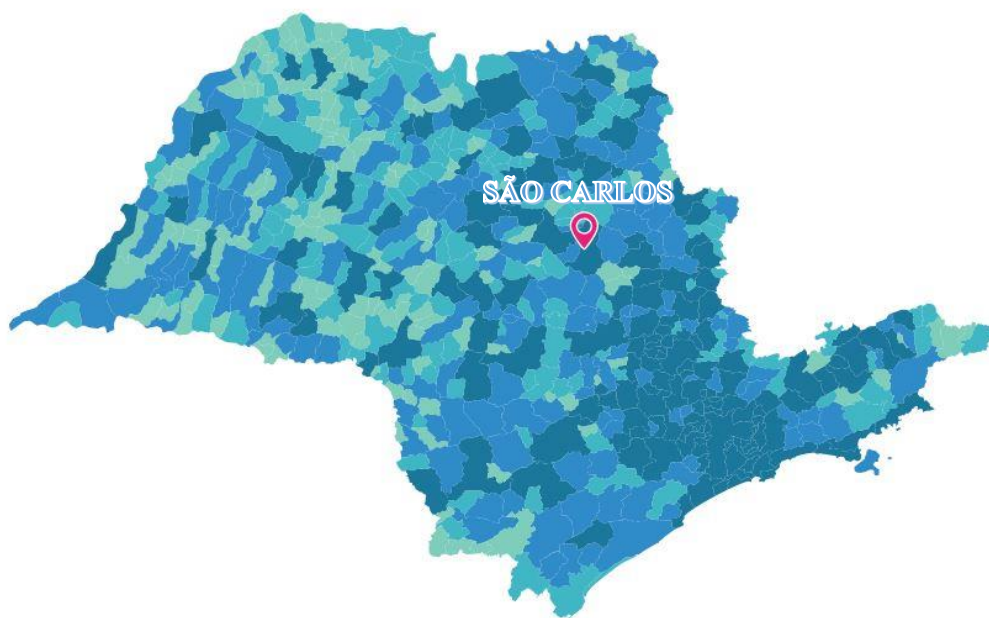


Figura 6 - Localização

Fonte: IBGE (2019)

Tolentino (2007) destaca a existência de duas estações bem distintas na cidade de São Carlos: uma seca, entre maio e setembro, marcada por precipitações escassas, nebulosidade baixa e temperaturas menores, e a outra chuvosa, com temperaturas elevadas, alta porcentagem de umidade e precipitações abundantes. O autor ainda classifica o clima da cidade de acordo com Köppen como Cwa.i – Aw1 (clima quente de inverno seco com transição para clima tropical com verão úmido e inverno seco. Amplitude entre verão e inverno menor que 5 °C).

Registros apontam que a temperatura mínima variou entre 0,4°C (setembro) e 16°C (dezembro) nos anos 1889 e 1890, enquanto as máximas estiveram entre 22°C (junho) e 33°C (dezembro). As normais climatológicas para o período 1939-1960 mostram que a temperatura média do ar nesse período foi 21,30°C, variando entre 20,97°C e 21,63°C. Enquanto a mínima observada no período foi 0°C (junho de 1942 e julho de 1953) e a máxima foi de 38,6°C (dezembro de 1940). Com relação a precipitação, o mês mais chuvoso do período foi janeiro, onde choveu um total mensal de 476,6 mm, sendo a normal de precipitação 1520,6 mm (TOLENTINO, 2007).

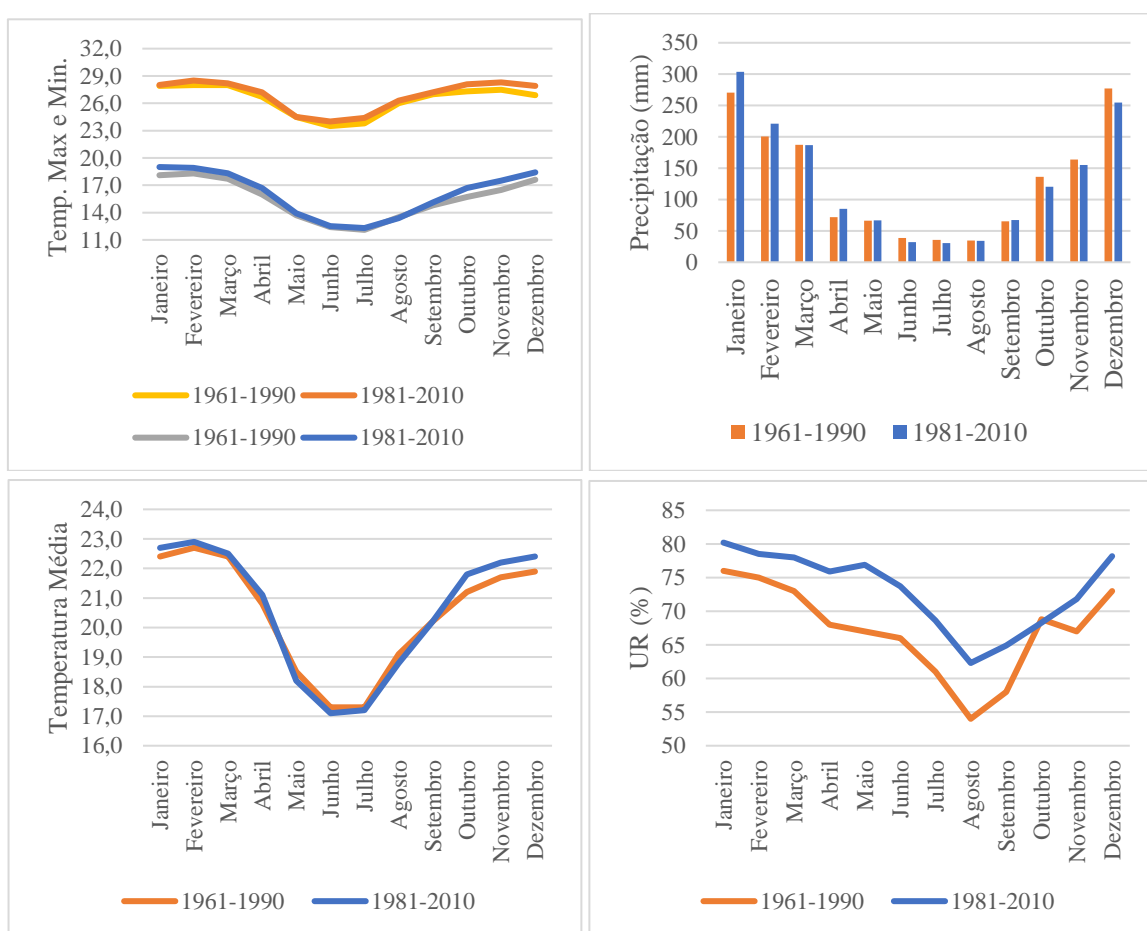


Figura 7 - Comparação entre as normais climatológicas 1961/1990 e 1981/2010 para São Carlos

Fonte: adaptado de INMET (2019)

A Figura 7 mostra a comparação entre as normais climatológicas nos dois períodos seguintes ao analisado por Tolentino (2007), onde é possível perceber o aumento de todas as variáveis para os anos de 1981-2010 em relação aos anos anteriores.

Da mesma forma nota-se mudanças nos padrões climáticos para a cidade de São Carlos nas figuras 6 e 7. Os gráficos correspondem à variação média anual da temperatura do ar e precipitação no município de São Carlos - SP para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

Tais cenários foram desenvolvidos pelo IPCC e simulam o que pode ocorrer no planeta de acordo com a quantidade emitida de GEE. Esses cenários são chamados de RCP (Representative Concentration Pathways - Caminhos Representativos de Concentração) e representam diferentes intensidades de emissões: um cenário de mitigação rigoroso (RCP2.6), dois cenários intermediários (RCP4.5 e RCP6.0) e um cenário com emissões muito altas de GEE (RCP8.5) (IPCC, 2014).

Os dados a seguir apresentam como referência o período de 1961 a 1990 e o comparam com a simulação das décadas seguintes do século XXI, a partir de simulações de modelos climáticos realizadas de acordo com os cenários de concentração de gases do efeito estufa (GEE) adotados pelo IPCC.

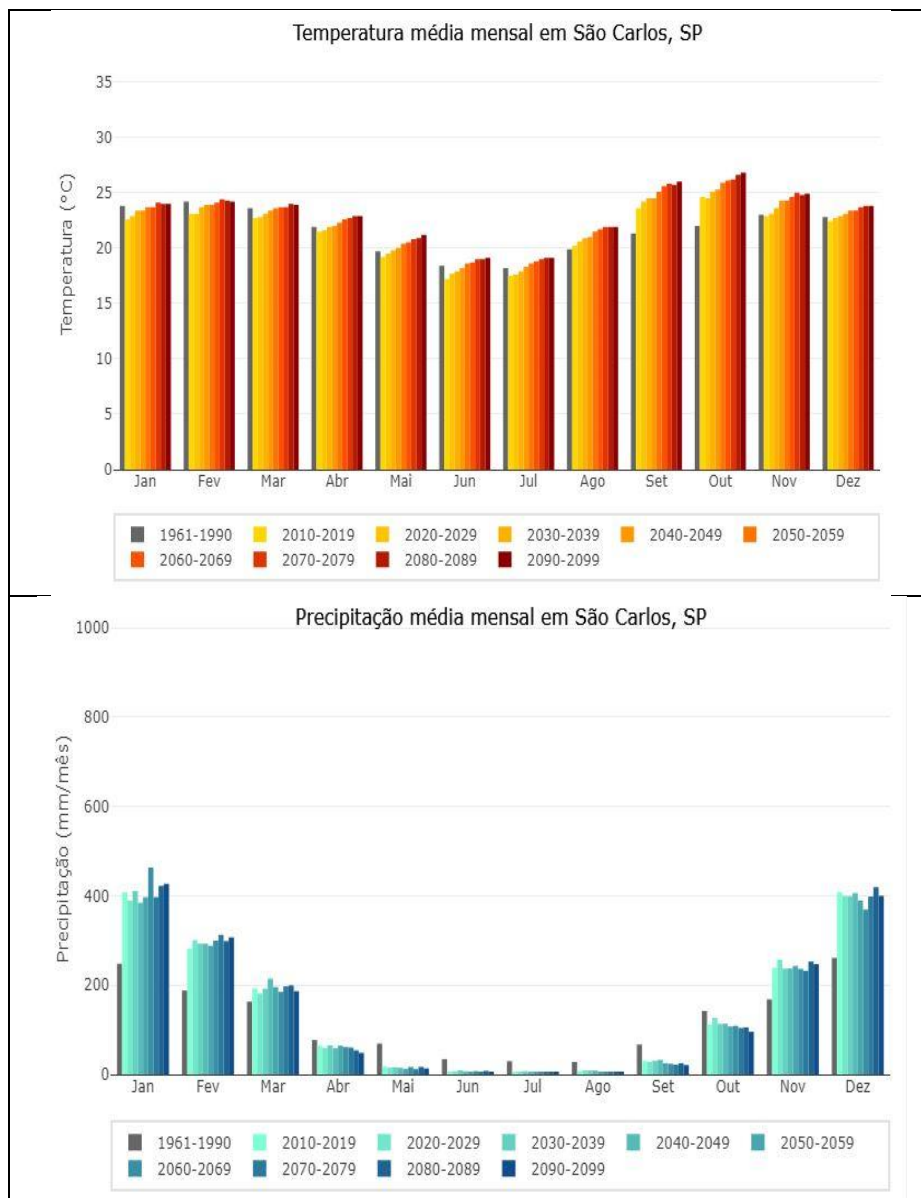


Figura 8 - Simulação da variação da temperatura e precipitação média mensal em São Carlos até 2099 - Cenário RCP 4.5

Fonte: Mudanças Climáticas no Brasil¹

O cenário RCP 4.5 (Figura 8), considerado pelo IPCC como moderado, possui diferenças de aproximadamente 5 °C na temperatura média para setembro e outubro entre o ano de referência e os anos simulados. Enquanto a média de precipitação mostrou que no mês de janeiro a simulação apresenta até 215mm a mais do que no período de referência. Por outro lado, nos meses de estiagem, pode chover até 55mm a menos.

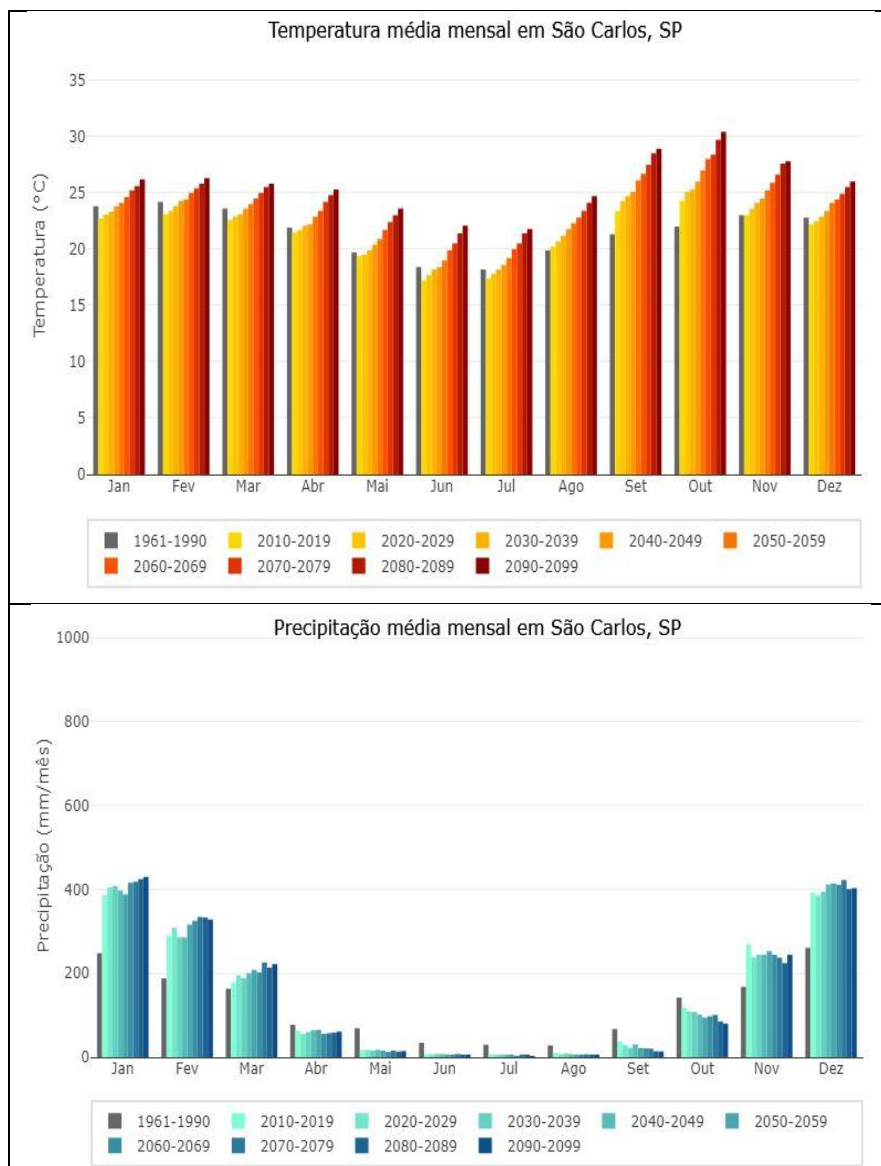


Figura 9 - Simulação da variação da temperatura e precipitação média mensal em São Carlos até 2099 - Cenário RCP 8.5

Fonte: Mudanças Climáticas no Brasil¹

O cenário RCP 8.5, considerado o pior cenário, mostra que até o intervalo 2090-2099 a temperatura média mensal pode aumentar aproximadamente 8 °C com relação ao intervalo 1961-1990. Enquanto a média mensal de precipitação em janeiro foi 181,8mm maior no cenário simulado do que no intervalo de referência.

Considerando a possibilidade de mudanças climáticas ocorrendo na escala local para a cidade de São Carlos, um dos critérios adotados para a definição das áreas de estudo foi que o espaço tenha sofrido alguma intervenção espacial a partir de 2009 e, assim, possa ter incorporado os conceitos propostos pela Política Nacional sobre Mudança do Clima e pelo

Plano Diretor de São Carlos. Além disso considerou-se também espaços de uso público com circulação frequente de pessoas em horário diurno para possibilitar a realização das entrevistas e espaços com características diferentes quanto a configuração da paisagem urbana, possibilitando assim, comparar os diferentes efeitos de cada uma no conforto térmico.

3.1.2 Pontos analisados

Esse trabalho analisou quatro frações urbanas da cidade de São Carlos – SP, cuja localização é apresentada na Figura 10 e serão descritos a seguir.

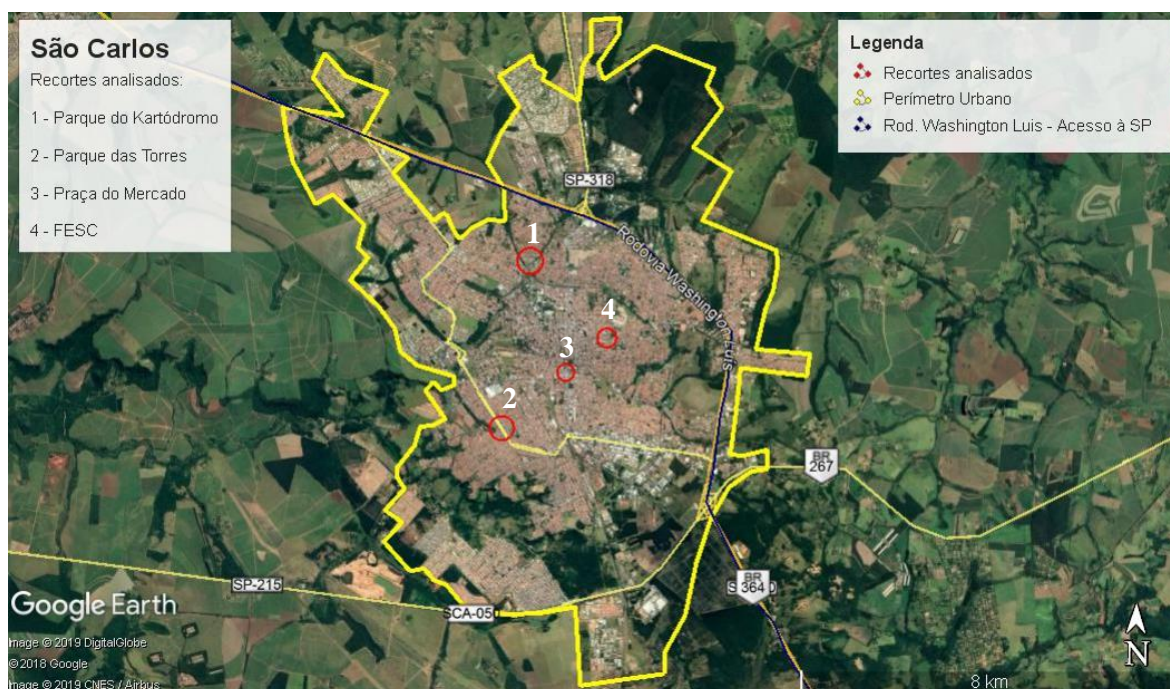


Figura 10 – Posição dos recortes urbanos analisados na cidade de São Carlos

Fonte: Adaptado de Google Earth Versão 7.3.1.4507 (2018) e de SÃO CARLOS (2016).

Além da localização na malha urbana é importante destacar as diferenças de altitude entre os pontos. A Figura 11 mostra um corte no terreno da cidade, indicando a altitude de cada ponto. Nota-se que dois dos espaços analisados encontra-se em fundo de vale (Parque do Kartódromo – 811m e Praça do Mercado - 809m). O ponto mais alto é a FESC (872m), localizada a 63m acima do ponto mais baixo (Praça do Mercado).

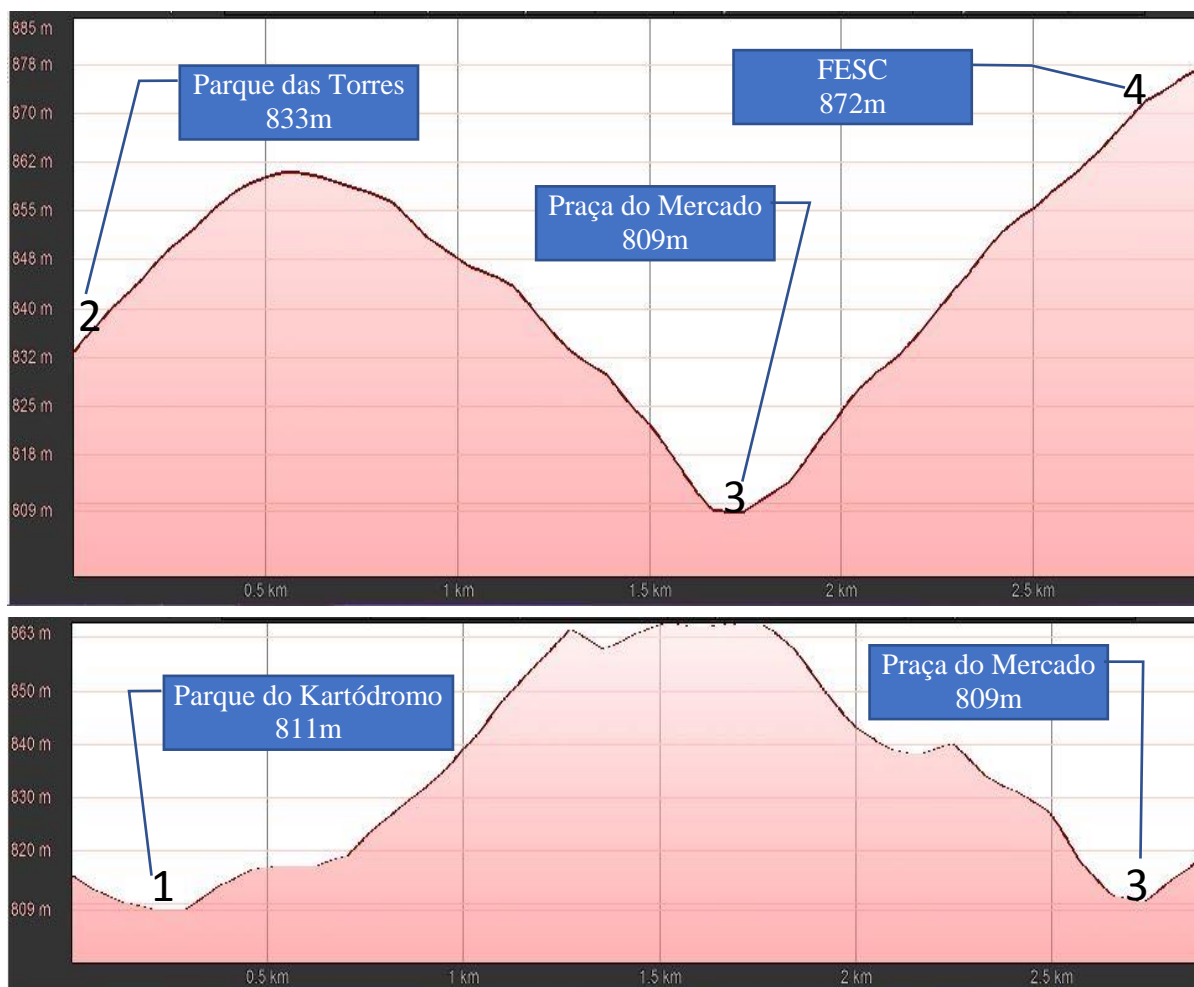


Figura 11 – Altitude dos recortes urbanos analisados na cidade de São Carlos

Fonte: Adaptado de Google Earth Versão 7.3.1.4507 (2018).

3.1.2.1 Parque do Kartódromo – Ponto 1

O Parque do Kartódromo é resultado de uma revitalização realizada sobre a antiga pista de kart da cidade. O local foi construído sobre o antigo leito do córrego do Monjolinho, que foi desviado na época da construção da pista de kart. Atualmente a margem do córrego encontra-se a poucos metros do Parque, sendo essa uma região de várzea (SÃO CARLOS, 2006). Em 2004 a pista de kart foi desativada a pedido da população, por estar em uma área residencial e o projeto de implantação de um parque urbano foi iniciado. Desde então, o local sofreu diversas modificações, como substituição de piso, instalação de mobiliário urbano e melhoria na iluminação.



Figura 12 - Parque do Kartódromo
Fonte: Autora

Atualmente o Parque do Kartódromo conta com pista de caminhada, parque infantil, academia ao ar livre e é utilizado para diversos eventos públicos, feiras e prática de atividades esportivas e de lazer ao ar livre em uma área de 22.620,00 m².

3.1.2.2 Parque Linear das Torres “Pista da Saúde Antônio Carlos Carnicelli” – Ponto 2

Localiza-se na porção oeste de São Carlos, no bairro Vila Boa Vista I. Caracteriza-se por um canteiro central na avenida Henrique Gregori, onde existiam torres de distribuição de energia elétrica de alta tensão. Em 2008, um projeto para construção de um parque linear retirou as torres e implantou uma ciclofaixa e pista de caminhada com extensão de 1,3km, além de bancos, lixeiras, iluminação e rearborização com espécies de diversos portes, incluindo árvores frutíferas.



Figura 13 - Parque Linear das Torres
Fonte: Autora

Os dois lados da Av. Henrique Gregori são ocupados por comércio, serviços e algumas residências.

3.1.2.3 Praça do Mercado “Maria Aparecida Resitano” – Ponto 3

A Praça do Mercado localiza-se em um fundo de vale, na região central da cidade de São Carlos e passou por um processo de revitalização em 2012, onde o córrego ali existente foi tamponado. O local já passou por diversas obras na tentativa de solucionar os constantes problemas de enchente enfrentados. Atualmente o espaço abriga diversos eventos culturais, como shows e feiras. O entorno da praça é composto essencialmente por estabelecimentos comerciais.



Figura 14 - Enchente na Praça do Mercado antes da canalização do córrego do Gregório
Fonte: BORGES, 2006



Figura 15 - Praça do mercado atualmente

Fonte: Autora

3.1.2.4 Fundação Educacional de São Carlos (FESC – Campo do Rui) – Ponto 4

A FESC é um espaço de uso público, destinado a atividades educativas, esportivas e de lazer. O local passou por um processo de revitalização recentemente, com a construção da pista de caminhada sobre o antigo campo de futebol, academia ao ar livre e parque infantil. Também foi realizada a construção de uma piscina coberta e prédio administrativo. Além disso, o espaço possui quadra poliesportiva, salas de aula, auditório, sala de atividades

físicas, ateliê de artes, sala de informática e biblioteca. A área gramada do antigo campo de futebol se transformou em uma generosa praça pública.



Figura 16 - Vista aérea da FESC
Fonte: FESC (2018)



Figura 17 - FESC
Fonte: Autora

3.2 Classificação das áreas urbanas

A caracterização da área foi baseada na metodologia desenvolvida por Stewart & Oke (2012) para a classificação das Zonas Climáticas Locais (ZCL). Os procedimentos de obtenção dos dados foram sintetizados na Tabela 7 e descritos a seguir.

Tabela 7 - Obtenção de dados para classificação das ZCL

Parâmetro	Forma de obtenção dos dados
Porcentagem de área permeável	Imagem de satélite + AutoCAD + confirmação em campo
Porcentagem de área impermeável	Imagem de satélite + AutoCAD + confirmação em campo
Porcentagem de área construída	Imagem de satélite + AutoCAD + confirmação em campo
FVC	Fotografia com lente olho de peixe + Rayman
Relação H/W	Google street view + confirmação em campo
Altura média dos elementos	Google street view + confirmação em campo
Classe de Rugosidade	Davenport <i>et al.</i> (2000)

Para o cálculo do FVC foram obtidas fotos com o auxílio de uma camera fotográfica com lente olho de peixe. A foto foi, então, submetida ao software RayMan 1.2 (MATZARAKIS; RUTZ, 2007) que realizou o cálculo entre a proporção de céu aberto e fechado da imagem. Como as áreas não possuem características homogêneas, foram tiradas fotos em diferentes pontos e, após o calculo do FVC, gerou-se a sua média aritmética.

Para o calculo da relação H/W foi realizada a média geométrica das alturas dos edificios e árvores e da largura das vias, considerando passeio e recuos frontais. As medidas foram estimadas com base nas imagens do Google Streetview.

O cálculo das áreas permeáveis, impermeáveis e construídas foi realizado com o auxílio do software autoCAD[®] sobre a imagem de satélite do Google Earth (2017) com a checagem no local do estudo e partir das dimensões de cada área.

A classe de rugosidade urbana considerou a média geométrica das alturas dos elementos existentes, sendo que foi utilizada a classificação de Davenport *et al.* (2000), conforme recomendado por Stewart & Oke (2012).

Os parâmetros foram cruzados com os valores da geometria e propriedades da cobertura de superfície para Zonas Climáticas Locais, apresentados como referência por Stewart & Oke (2012) e as ZCL foram classificadas de acordo com a correspondência dos parâmetros.

3.3 Coleta de dados microclimáticos

Para essa etapa foram instalados, há aproximadamente 3,5m do solo, oito termohigrometros da marca HOBO Pro V2 U23-001, sendo dois em cada um dos pontos

analisados. Os sensores registraram a temperatura e a umidade relativa do ar no período de 19 de dezembro de 2018 à 02 de janeiro de 2019. As figuras de 18 a 21 mostram os pontos em que cada sensor foi instalado no entorno dos pontos de entrevista.

Os pontos de fixação dos equipamentos foram selecionados em função da disponibilidade dos proprietários, já que por questões de segurança, foram colocados em propriedades particulares.



Figura 18 - a) pontos de coleta de dados na região do Parque do Kartódromo, b) Sensores instalados



Figura 19 - a) pontos de coleta de dados no Parque Linear das Torres, b) Sensores instalados



Figura 20 – a) pontos de coleta de dados na região da Praça do Mercado, b) Sensores instalados



Figura 21 – a) pontos de coleta de dados na FESC, b) Sensores instalados

3.4 Coleta de dados sobre a percepção térmica dos usuários

Paralelamente ao monitoramento microclimático, foram realizadas duas campanhas de entrevistas com os usuários em cada um dos pontos em dias diferentes, totalizando oito campanhas, visando obter informações pessoais como idade, peso, altura e sobre a percepção

térmica e a satisfação com o ambiente térmico. As coletas foram realizadas em três diferentes períodos, sendo eles: das 10h às 11h, das 16h às 17h e das 19h às 20h.

Os períodos do dia foram definidos com base no que sugere a Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization - WMO) para observações meteorológicas: 12h, 18h e 00h, correspondendo a 9h, 15h e 21h no horário de Brasília (GMT -3). Optou-se, no entanto, por substituir o horário das 21h pelas 18h em virtude da circulação de pessoas ser maior nesse momento. Sendo aqui considerados GMT -2 devido a ocorrência do horário de verão no período em que se realizou as coletas.

As entrevistas foram realizadas em dias com céu claro, ventos fracos, atmosfera estável e predominância de atuação da Massa de ar Tropical Atlântica, conforme CEPTEC/INPE (2018, 2019).

O questionário utilizado para avaliar a sensação de conforto adotou a escala de sete pontos, baseado na Norma Internacional - ISO 10551 (1995) e o que mede a satisfação foi baseado na ASHRAE 55 (2003), porém adotando-se uma escala de cinco pontos disponível no Apêndice A.

Os dados foram organizados e tabulados no software Excel®. A amostragem foi definida em função do maior número de usuários obtidos por período de coleta, sem nenhum tratamento estatístico.

Foram realizadas coletas no período de 17 de dezembro de 2018 a 30 de janeiro de 2019, dos quais resultaram 679 entrevistas. No entanto, foram considerados somente os dados obtidos em dias de tempo estável, com poucas ou nenhuma nuvem. Desconsiderou-se também usuários que não residiam em São Carlos ou se encontravam no ambiente há menos de 15 minutos.

Assim, o total de entrevistas consideradas foi 325, distribuídas conforme a Tabela 8. Do total de respondentes, 60% foi do sexo masculino, a idade média encontrada foi de 39 anos, com peso de 70kg e altura 1,70 m.

Tabela 8 - Número de entrevistas válidas realizadas em cada ponto

Ponto	Data	Hora de coleta	Número de entrevistas
Parque do Kartódromo	28/01/2019	10h – 11h	20
	29/01/2019	16h – 17h	20
		19h – 20h	48
		Total	97
Parque Linear das Torres	07/01/2019	10h – 11h	21
	30/01/2019	16h – 17h	19
		19h – 20h	28
		Total	68
Praça Maria Aparecida Resitano	17/12/2018	10h – 11h	31
	20/12/2018	16h – 17h	34
		19h – 20h	32
		Total	88
Fundação Educacional de São Carlos (FESC – Campo do Rui)	10/01/2019	10h – 11h	17
	19/01/2019	16h – 17h	21
		19h – 20h	34
		Total	72

A Figura 22 mostra a variação da temperatura e umidade relativa do ar na estação do INMET durante o período analisado e as barras cinzas marcam os dias em que foram realizadas as coletas utilizadas.

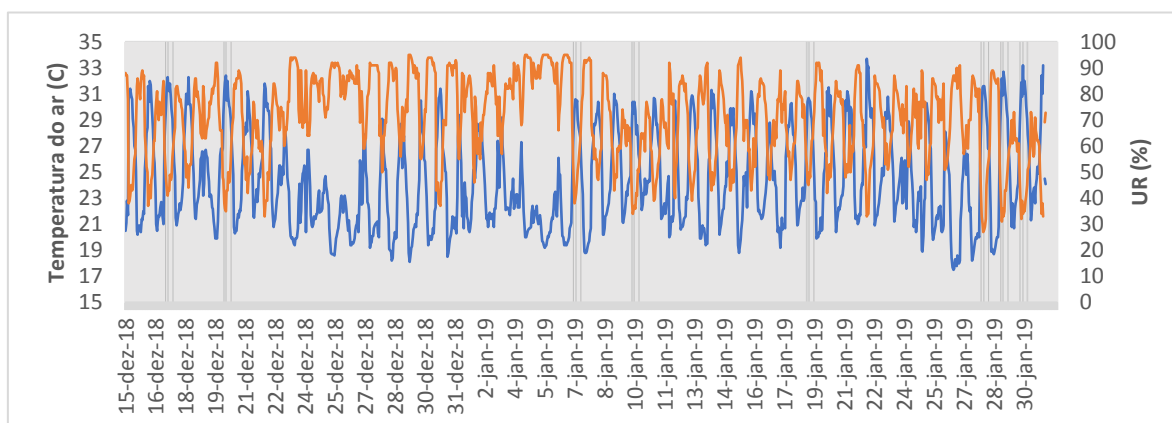


Figura 22 – Temperatura do ar X Umidade Relativa no período de coleta

Fonte: adaptado de INMET (2018, 2019)

3.5 Cálculo do índice de conforto

A presente pesquisa, adotou como ferramenta metodológica o índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*), que foi desenvolvido por Hoppe (1999) e baseado no MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*).

Durante as entrevistas também foram coletados a temperatura e a umidade relativa do ar com um termo higrômetro HOBO Pro V2 U23-001 inserido em um escudo de PVC para proteção contra a incidência direta da radiação solar (1), a velocidade do vento com um termo -anemômetro Digital Instrutherm TAVR – 650 (2) e a temperatura de globo, utilizando um termômetro de globo feito a partir de um termo-anemômetro Kimo VT200, sendo que o sensor deste foi posicionado no interior de uma bola de ping pong (D=40mm.) pintada na cor cinza médio (3). Os equipamentos foram posicionados em um pedestal a uma distância de aproximadamente 1,5m do solo (Figura 23). As medições foram iniciadas 30 minutos antes de cada coleta para garantir a estabilização dos equipamentos.

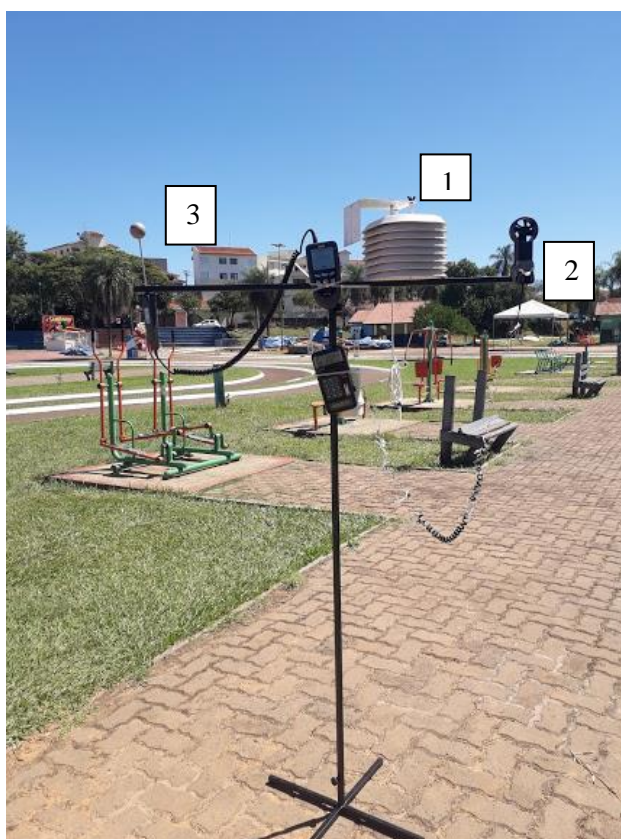


Figura 23 - Equipamentos utilizados para medição

Após a coleta os dados foram inseridos em planilhas do Excel® para análise e, posteriormente, o cálculo do índice de conforto térmico. Para o cálculo do índice PET considera-se a temperatura do ar (°C), a velocidade do ar (m/s), a umidade relativa do ar (%), Temperatura Radiante Média (TRM) e dados individuais dos usuários (idade, altura, peso, coeficiente de isolamento térmico da vestimenta (CLO) e taxa metabólica (MET)).

Para o cálculo da Temperatura Radiante Média (TRM), utilizou-se a temperatura de globo cinza, coletada durante as entrevistas. Adotou-se, então, a equação para a convecção forçada, de acordo com a ISO 7726/1988:

$$Trm = \left[(tg + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times Va^{0,6}}{Eg \times D^{0,4}} \times |tg - ta| \right]^{\frac{1}{4}} - 273$$

Onde,

tg = Temperatura de globo [°C]

Va = Velocidade do ar [m/s]

Eg = Emissividade do globo

D = Diâmetro do globo [m]

ta = Temperatura do ar [°C]

As informações sobre as características pessoais foram coletadas durante as entrevistas, o coeficiente de isolamento térmico da vestimenta e a taxa metabólica foram calculados com base na ISO 7730/2005. O cálculo do Índice PET foi realizado utilizando o software RayMan 1.2 (MATZARAKIS; RUTZ, 2007).

3.6 Espacialização das médias de PET

Com o objetivo de visualizar a distribuição dos níveis de conforto na malha urbana foram gerados 3 mapas de temperatura PET, para às 10h, 16h e 19h. Os dados utilizados para a espacialização foram obtidos através das médias dos valores de PET calculados nos dois dias de pesquisa, para cada ponto.

Os valores das médias foram inseridos no software Quantum GIS – versão 3.2.1, um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O método escolhido para a criação dos mapas foi a Interpolação IDW (Ponderação do Inverso da Distância). No entanto optou-se por um recorte que abrangesse somente as áreas adjacentes aos pontos, buscando manter maior precisão estatística, já que a análise aqui realizada contempla somente 4 pontos e o IDW baseia-se na distância entre eles.

3.7 Análise estatística

Com a finalidade de investigar a relação entre os parâmetros da forma urbana e o conforto térmico dos usuários foi realizado o teste de correlação.

De acordo com Volpato & Barreto (2011), as análises de correlação visam determinar a relação entre conjuntos, mostrando se a alteração no valor de uma variável está associada a alguma mudança no valor de outra. Dessa forma, essa etapa verificou a existência de correlação linear entre os parâmetros propostos por Stewart & Oke (2012) para classificação das ZCLs (Fator de Visão do Céu, Relação H/W, Altura média da rugosidade, Porcentagem de área construída, Porcentagem de área permeável e Porcentagem de área impermeável) e o índice de conforto calculado.

Assim como no item anterior, os valores representativos de PET em cada ponto aqui utilizados, foram obtidos pela média dos dois dias de coleta.

4 Resultados e discussão

Os resultados foram organizados de maneira a apresentar a caracterização (quanto à forma urbana e ao microclima) de cada um dos pontos analisados; em seguida, a análise do conforto térmico (subjetivo e calculado) dos usuários para os três horários de coleta e a relação encontrada entre os parâmetros urbanos e o conforto térmico.

4.1 Caracterização das áreas urbanas - Zonas Climáticas Locais

A Tabela 9 apresenta os parâmetros encontrados em cada um dos pontos, referente à classificação das Zonas Climáticas Locais.

Tabela 9 - Classificação das Zonas Climáticas Locais


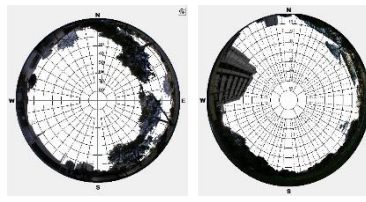


Parque do Kartódromo – Ponto 1	
 <p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> Área Permeável Área Impermeável Área Construída Vias Córrego <p>100m</p>	 <p>Fator de visão do céu (FVC) 0,65</p>
	<p>Relação HxW 0,29</p> <p>Superfície construída 51,86%</p> <p>Superfície impermeável 23,53%</p> <p>Superfície permeável 24,61%</p> <p>Altura média 4,49m</p> <p>Classe de rugosidade 5</p>
<p>ZCL 6 + ZCL 5 = ZCL 6₅</p> <p>6. Open low-rise</p>  <p>+</p> <p>5. Open midrise</p> 	

Tabela 9 - Classificação das Zonas Climáticas Locais (Continuação)


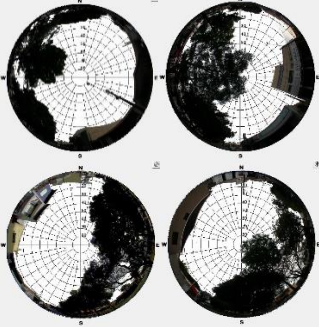
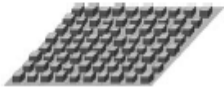


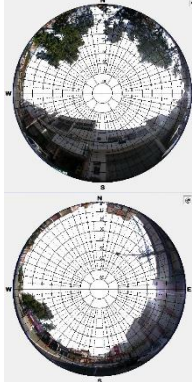


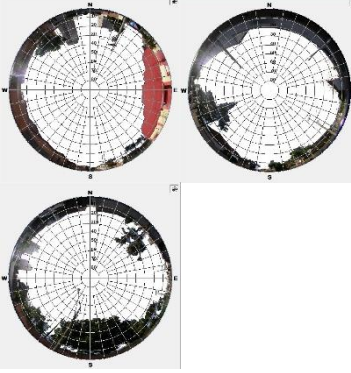


Parque Linear das Torres – Ponto 2														
 <p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> Área Permeável Área Impermeável Área Construída Vias Córrego <p style="text-align: center;">100m</p>	 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Fator de visão do céu (FVC)</td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">0,43</td> </tr> </table>	Fator de visão do céu (FVC)	0,43											
	Fator de visão do céu (FVC)	0,43												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Relação HxW</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> </tr> <tr> <td>Superfície construída</td> <td style="text-align: center;">61,89%</td> </tr> <tr> <td>Superfície impermeável</td> <td style="text-align: center;">25,23%</td> </tr> <tr> <td>Superfície permeável</td> <td style="text-align: center;">12,89%</td> </tr> <tr> <td>Altura média</td> <td style="text-align: center;">4,60m</td> </tr> <tr> <td>Classe de rugosidade</td> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> </table>	Relação HxW	0,40	Superfície construída	61,89%	Superfície impermeável	25,23%	Superfície permeável	12,89%	Altura média	4,60m	Classe de rugosidade	5	
	Relação HxW	0,40												
	Superfície construída	61,89%												
	Superfície impermeável	25,23%												
	Superfície permeável	12,89%												
	Altura média	4,60m												
	Classe de rugosidade	5												
	<p>ZCL 3 + ZCL B = ZCL 3_B</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>3. Compact low-rise</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>B. Scattered trees</p>  </div> </div>													
Praça do Mercado – Ponto 3														
 <p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> Área Permeável Área Impermeável Área Construída Vias Córrego Canalizado <p style="text-align: center;">100m</p>	 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Fator de visão do céu (FVC)</td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">0,54</td> </tr> </table>	Fator de visão do céu (FVC)	0,54											
	Fator de visão do céu (FVC)	0,54												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Relação HxW</td> <td style="text-align: center;">0,35</td> </tr> <tr> <td>Superfície construída</td> <td style="text-align: center;">57,09%</td> </tr> <tr> <td>Superfície impermeável</td> <td style="text-align: center;">34,85%</td> </tr> <tr> <td>Superfície permeável</td> <td style="text-align: center;">8,06%</td> </tr> <tr> <td>Altura média</td> <td style="text-align: center;">5,28m</td> </tr> <tr> <td>Classe de rugosidade</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> </table>	Relação HxW	0,35	Superfície construída	57,09%	Superfície impermeável	34,85%	Superfície permeável	8,06%	Altura média	5,28m	Classe de rugosidade	6	
	Relação HxW	0,35												
	Superfície construída	57,09%												
	Superfície impermeável	34,85%												
	Superfície permeável	8,06%												
Altura média	5,28m													
Classe de rugosidade	6													
<p>ZCL 2</p> <div style="text-align: center;"> <p>2. Compact midrise</p>  </div>														

Tabela 9 - Classificação das Zonas Climáticas Locais (Continuação)

FESC – Ponto 4		
 <p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> Área Permeável Área Impermeável Área Construída Vias 		Fator de visão do céu (FVC)
		0,60
	Relação HxW	0,31
	Superfície construída	57,34 %
	Superfície impermeável	26,69 %
	Superfície permeável	15,98 %
	Altura média	4,72m
	Classe de rugosidade	6
	<p>ZCL 2 + ZCL 3 = ZCL 2₃</p> <p>2. Compact midrise</p>  <p>+</p> <p>3. Compact low-rise</p> 	

O Parque do Kartódromo foi classificado como ZCL 6₅ (Espaço aberto de edifícios baixos com a presença de edifícios médios), cuja definição de Stewart e Oke (2012) sugere a abundância de cobertura permeável (plantas baixas, árvores dispersas), a presença de materiais como concreto, aço, pedra e vidro e com edifícios baixos (1-3 pavimentos) e médios (3-9 pavimentos).

O Parque Linear das Torres situa-se numa área classificada como Compacto de edifícios baixos com a presença de árvores dispersas (ZCL 3_B), ou seja, uma densa mistura de prédios baixos (1-3 pavimentos), cuja cobertura do solo é em grande parte pavimentada e os materiais de construção presentes são pedra, tijolo, telha e concreto. No entanto, possui a presença de vegetação baixa e árvores dispersas.

A Praça do Mercado possui características da classificação Compacto de edifícios médios (ZCL 2), caracterizada como densa mistura de prédios médios (3 a 9 pavimentos).

Assim, como o Parque Linear das Torres, essa área possui solo coberto por pavimentação e a presença de materiais como pedra, tijolo, telha e concreto. Porém, aqui vê-se poucas ou nenhuma árvore.

A FESC mistura as características da ZCL 2 com a ZCL 3, ou seja, possui uma densa mistura de edificações de baixa e média altura (1-3 e 3-9 pavimentos), com pouca vegetação.

Com relação a cobertura do solo nas áreas analisadas, o Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2) é a região que menos possui áreas permeáveis, marcada apenas pela praça ao lado e alguns pontos no entorno. Seguida do Parque Linear das Torres, onde se vê dois pontos de concentração de vegetação (a Av. Henrique Gregori e o Parque do Bicão). Grande parte da cobertura vegetal encontrada na região do Ponto 4 (FESC - ZCL2₃) se deve ao campo de futebol que ali existia e teve seu gramado mantido, enquanto a maior parte do entorno não possui vegetação. Por outro lado, o Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅) possui grande parte da superfície do seu entorno permeável, sendo superior à porcentagem de superfície pavimentada, por exemplo.

O Fator de Visão do Céu variou de 0,43 a 0,65, sendo o Ponto 2 (Parque das Torres) o local de maior obstrução e o Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅) o de menor.

Embora haja grande diferença visual entre as paisagens urbanas analisadas, alguns parâmetros se comportam de maneira semelhante em ambos os pontos. As regiões possuem pouca verticalização (com altura média dos elementos de rugosidade variando de 4,49 a 5,28m), o que também influencia a pequena variação da relação H/W entre os pontos (0,29 a 0,35). Além disso, embora a região central (Praça do Mercado) possua ruas mais largas, nesse ponto as edificações não possuem recuo frontal, diferente dos demais pontos onde as ruas são ligeiramente mais estreitas, porém, considerando o recuo frontal existente equilibra-se a largura dos cânions urbanos nos quatro recortes. Sendo, assim, a presença ou ausência de vegetação a diferença mais marcante entre eles.

Outro fator a ser considerado é que o Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅) se localiza em uma região ainda não completamente consolidada, com muitos terrenos vazios, diferente dos outros pontos que por se situarem em locais já estabelecidos possuem a sua distribuição mais compacta.

4.2 Caracterização do microclima

A Figura 25 mostra a variação horária da temperatura do ar durante o período de 19 de dezembro de 2018 a 02 de janeiro de 2019 em cada um dos pontos analisados nessa pesquisa e na estação do INMET. Os dados referentes aos recortes urbanos estudados foram obtidos através da média aritmética dos dois sensores instalados em cada área.

A temperatura do ar registrada no INMET apresenta os menores valores na maior parte do período e pode ser usada como referência para analisar os demais microclimas já que se encontra fora do centro urbano e sofre, portanto, menos interferência da urbanização em seu clima natural.

A maior diferença de temperatura registrada entre os recortes analisados e a estação do INMET em um mesmo momento foi de $6,9^{\circ}\text{C}$, sendo a maior temperatura obtida no Parque das Torres ($27,3^{\circ}\text{C}$) e a menor na estação do INMET ($18,1^{\circ}\text{C}$). No entanto, as maiores temperaturas foram encontradas no Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2), alcançando uma amplitude maior que 5°C com relação ao INMET por diversos momentos. As menores temperaturas do ar foram registradas no Ponto 4 (FESC - ZCL2₃) e, em alguns momentos, no Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅), chegando a 3°C a menos do que na estação do INMET.

A temperatura máxima registrada, considerando somente os recortes urbanos, foi $36,8^{\circ}\text{C}$ (na Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2)) e a mínima foi $18,8^{\circ}\text{C}$ (no Ponto 4 (FESC - ZCL2₃)), enquanto na estação do INMET a temperatura variou de $18,1^{\circ}\text{C}$ a $32,4^{\circ}\text{C}$ no mesmo período. A Figura 24 mostra que as diferenças de temperatura entre os recortes das ZCL foram mais percebidas pelas máximas, diferente do encontrado por Alexander e Mills (2014), que percebem maiores diferenças entre as temperaturas médias.

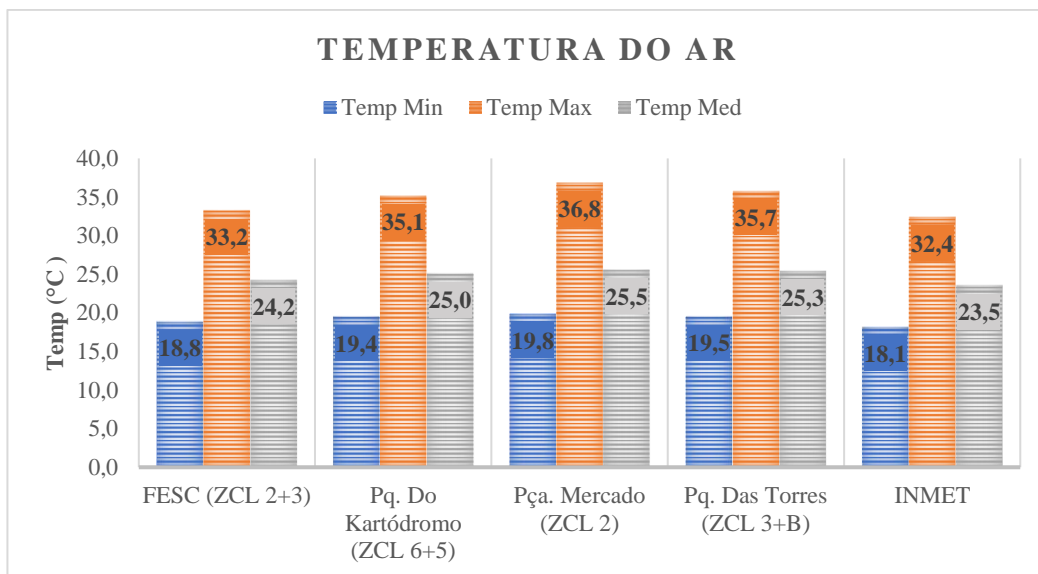


Figura 24 - Variação da temperatura do ar

Stewart e Oke (2012) dizem que os contrastes de temperatura do ar podem ultrapassar 5°C entre as ZCL com significativas diferenças, enquanto entre as zonas climáticas com menor diferença física esse contraste é inferior a 2°C. Alexander e Mills (2014) observam que durante o período noturno as zonas climáticas com alta taxa de impermeabilidade se mostraram 4°C mais quentes que as zonas com alta cobertura permeável.

Assim, percebe-se que esse estudo se mostra coerente com o encontrado por outros autores. Embora as diferenças observadas entre as zonas climáticas com maior contraste (Praça do Mercado e Parque do Kartódromo) tenham chegado a aproximadamente 2°C, é necessário considerar também que a altitude possa contribuir para esse resultado, já que ambos os recortes se encontram em altitude similar. Além disso, a FESC foi o ponto de maior altitude e, mesmo com configuração física semelhante a Praça do Mercado (ambas com grande porcentagem de área construída), apresentou temperatura do ar máxima 3,6 °C abaixo.

É importante, ainda, destacar que embora não se tenha classificado a região da estação do INMET segundo os parâmetros das ZCL, a área em questão possui localização na periferia do perímetro urbano, com grande quantidade de cobertura vegetal, o que pode justificar a diferença de 4,4°C a mais que a Praça do Mercado (ZCL 2), zona compacta e com alta taxa de impermeabilidade.

No que se refere a umidade relativa do ar (Figura 26), o maior valor foi registrado no Parque das Torres (98%) e o menor na Ponto 3 (Praça do e – ZCL 2) (28%), enquanto o INMET variou de 33% a 95%. A maior amplitude entre os pontos foi de 28%, sendo a menor UR registrada nesse momento no Parque das Torres (63%) e a maior no Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL65) (91%).

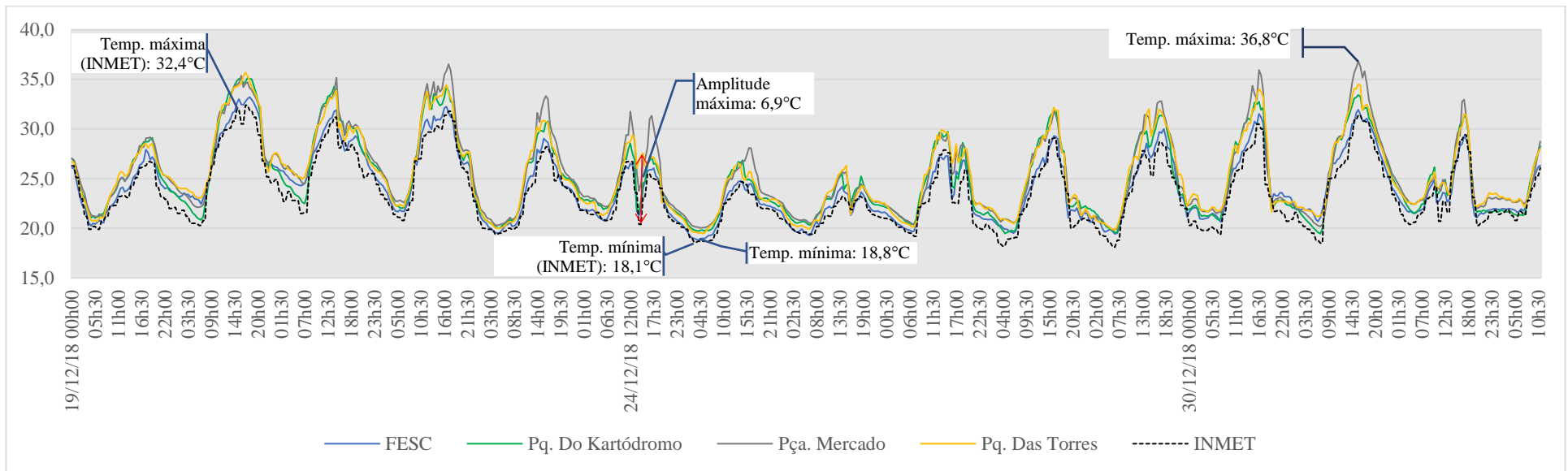


Figura 25 - Variação da temperatura do ar

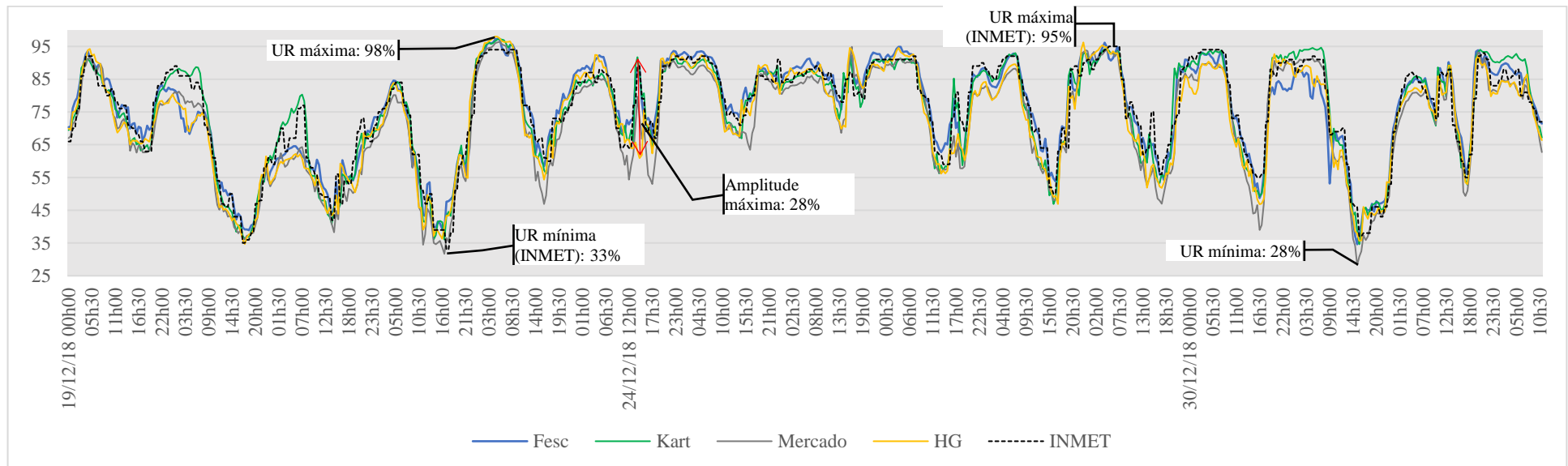


Figura 26 - Variação da umidade relativa do ar

4.3 Conforto térmico

A Figura 27 mostra a distribuição entre a percepção dos usuários e pelos valores de PET. O PET variou de 25°C a 48°C, no entanto observa-se votos de Muito Quente para todas as faixas, embora também apresentasse grande quantidade de respostas para a percepção de Quente. Tal fato aponta para que a maior parte dos valores de PET calculados para esse período correspondam a uma percepção de desconforto por calor.

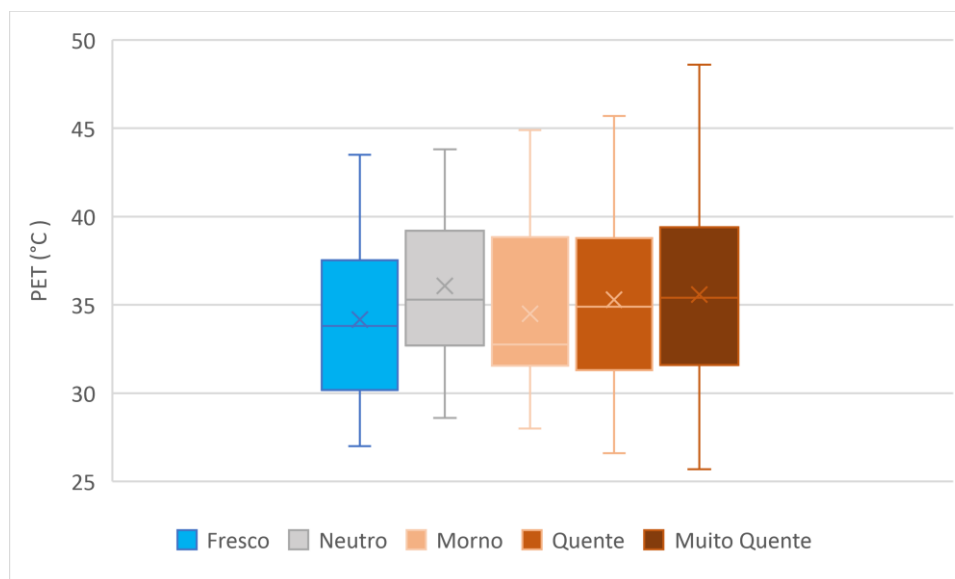


Figura 27 - PET x Percepção Térmica

Observa-se que o valor máximo de PET para cada faixa de percepção aumenta à medida em que cresce o nível de desconforto. O mesmo, no entanto, não acontece com os limites mínimos, que aumentam com o desconforto para as faixas de calor. A distribuição mostra, ainda, uma maior concentração de PET entre 30°C e 40°C.

As faixas de percepção térmica se sobrepõem, especialmente as que indicam o desconforto por calor (Quente – Muito Quente), apresentando valores de média e mediana muito semelhantes. Por outro lado, a faixa “Morno” apresenta mediana inferior, já que, embora tenha uma ampla variação, grande parte dos votos encontra-se abaixo de 35°C e abaixo da percepção “Neutro”.

Contudo, é importante destacar a proporção dos votos de percepção. A Figura 28 mostra que, em todos os períodos analisados, a maior parte dos votos foram para as faixas de calor, o que se justifica pelas altas temperaturas observadas no verão e poderia explicar a sobreposição mencionada, já que quase 80% do total de usuários relataram percepção “Muito

Quente” e “Quente”. Hirashima (2016) demonstrou níveis similares de desconforto durante o verão em duas praças de Belo Horizonte – MG.

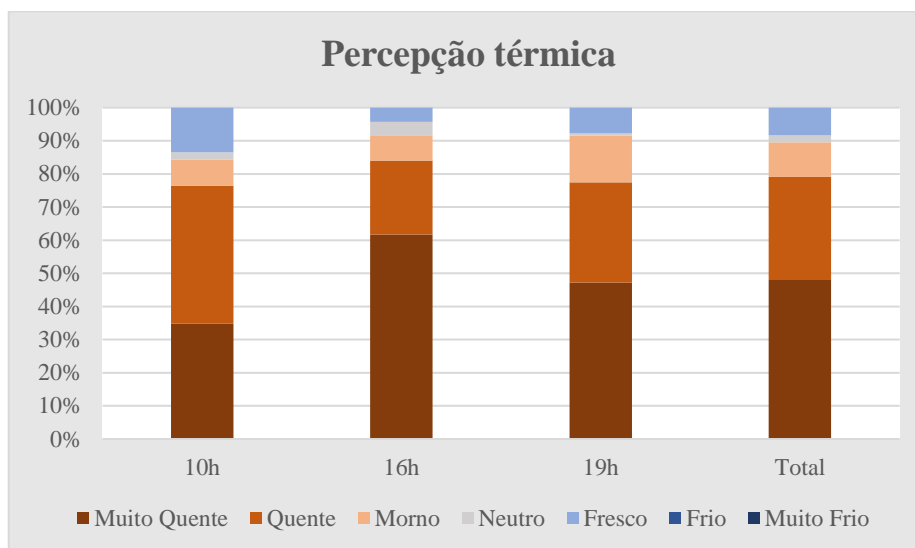


Figura 28 – Distribuição das percepções de conforto

Observa-se que 20% do total de respondentes encontra-se entre as faixas de “Fresco”, “Neutro” e “Quente”, sendo que apenas 2% dos usuários se declaram em neutralidade térmica com variação de 28,6 °C a 43,8°C. Labaki *et al.* (2012) analisaram o conforto térmico na cidade de Campinas – SP, cuja classificação de Koppen indica clima Cwa, assim como São Carlos e os autores destacam que, para essa cidade os limites de conforto estão entre 20 °C e 29°C. No entanto, a mesma pesquisa considera, ainda, outras cidades do interior de São Paulo e verifica que quase 60% do total de respondentes encontra-se em neutralidade térmica entre 18 °C e 26 °C, condizente com estudo de Monteiro e Alucci (2010) para a cidade de São Paulo-SP.

Dessa forma, para os dados abaixo as faixas de conforto foram analisadas de acordo com o proposto por Monteiro e Alucci (2010) (Tabela 10), por possuírem maior distribuição da percepção entre as faixas de PET.

Tabela 10 - Faixas de Conforto Térmico

PET	Percepção térmica
$\leq 4^{\circ}\text{C}$	Muito frio
$4^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 12^{\circ}\text{C}$	Frio
$12^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 18^{\circ}\text{C}$	Pouco frio
$18^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 26^{\circ}\text{C}$	Neutra
$26^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 31^{\circ}\text{C}$	Pouco calor
$31^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 43^{\circ}\text{C}$	Calor
$> 43^{\circ}\text{C}$	Muito Calor

Fonte: Adaptado de Monteiro e Alucci (2010)

A Figura 29 mostra a distribuição da Percepção Térmica, do índice PET e a Satisfação dos usuários com o ambiente térmico divididos de acordo com o horário de coleta (10h, 16h e 19h).

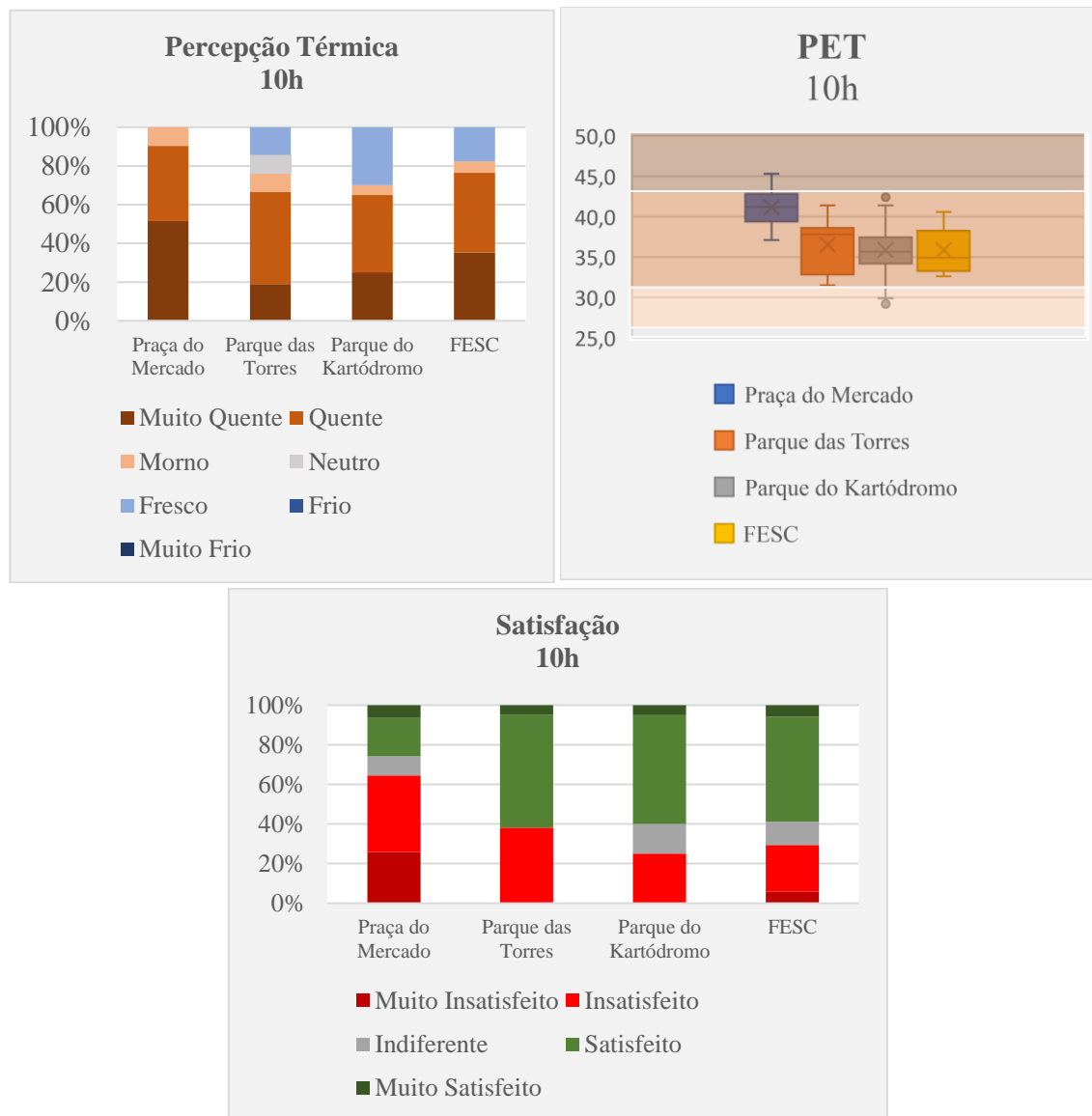


Figura 29 - Conforto térmico subjetivo, calculado e Satisfação – 10h - 11h

No período da manhã observa-se que em todos os pontos analisados prevaleceu a percepção de que o ambiente estava quente, sendo que a Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2) obteve mais de 50% dos votos percebidos como “Muito Quente”, além dos 39% “Quente”. Da mesma forma, o índice PET apontou o Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2) com o pior nível de conforto térmico, variando de 37°C a 45°C e uma média de 41°C, com percepção de “Calor” prevalecendo, apesar de atingir o voto de “Muito Calor”, o que não acontece com os demais pontos nesse horário.

Embora o Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅) tenha demonstrando uma grande variação de PET (29°C a 41°C) a maior parte dos resultados encontra-se na faixa de “Calor”, com valor médio (35,8°C) igual ao do Ponto 4 (FESC - ZCL2₃), que apresentou uma variação menor (32,6°C a 40,6°C). O Ponto 2 (Parque das Torres – ZCL3_B) obteve valores próximos aos dois pontos anteriores, média 36,5°C e variação de 31,5°C a 41,4°C, também com percepção de “Calor”.

Os resultados apontados no conforto térmico podem ser refletidos na satisfação dos usuários, onde, apesar do calor foi relatado grande satisfação com o ambiente (cerca de 60%) em três pontos (Parque das Torres, Parque do Kartódromo e FESC), enquanto o Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2) apresentou 39% dos usuários insatisfeitos e ainda 26% muito insatisfeitos (65% de insatisfação).

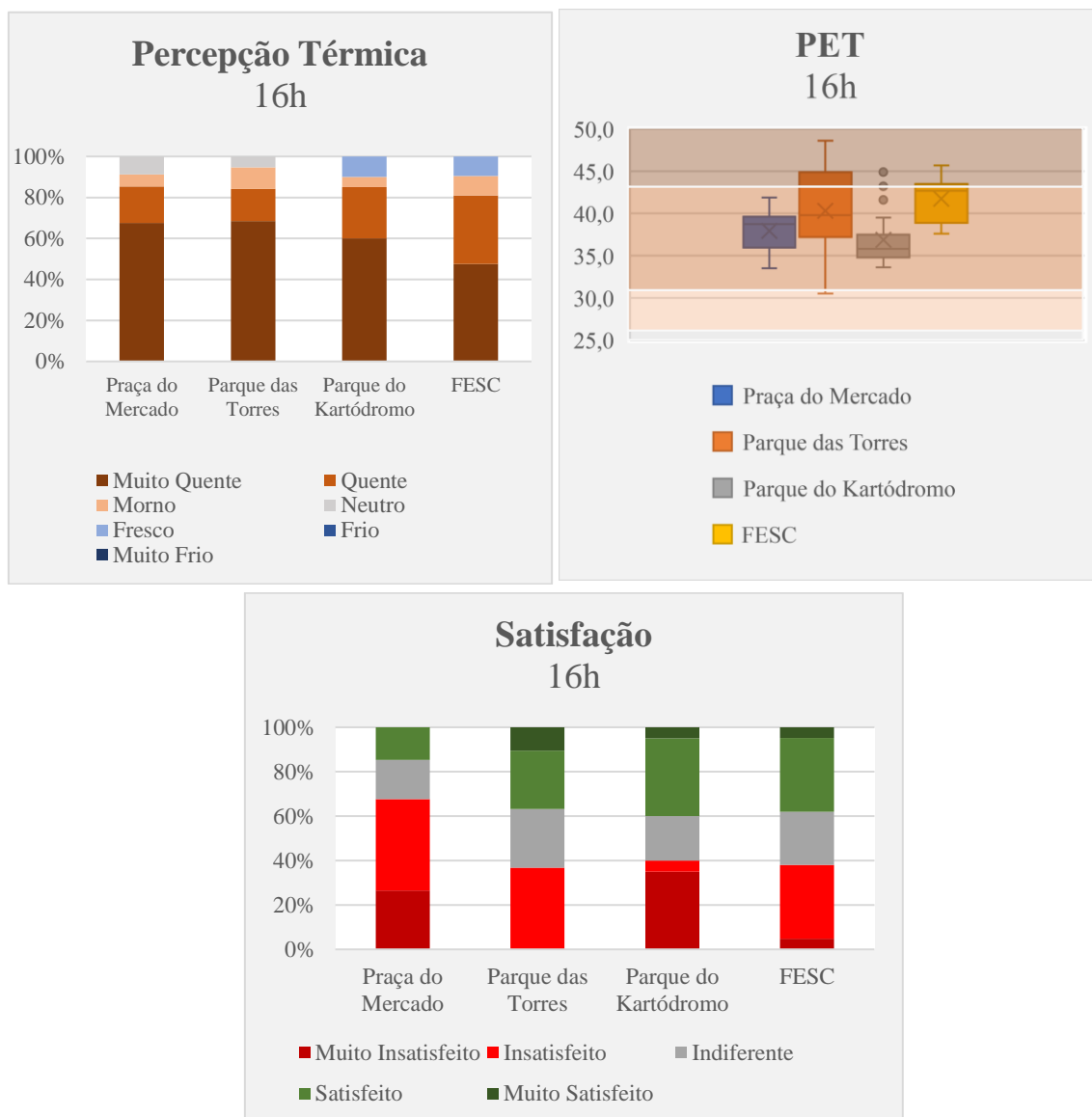


Figura 30 - Conforto térmico subjetivo, calculado e Satisfação – 16h - 17h

No período das 16h a percepção de “Muito Quente” aumentou em todos os pontos, sendo predominante. Embora a percepção no Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2) seja muito semelhante ao Ponto 2 (Parque das Torres – ZCL3_B), nota-se maior insatisfação no primeiro ponto, enquanto no segundo é possível ver o aumento do número de pessoas indiferentes. Esse fato pode estar relacionado a forte presença de vegetação na Av. Henrique Gregori (Parque das Torres) que contribui para a satisfação dos usuários.

Apesar da percepção dos usuários apontar o Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2) como o ponto mais quente e de menos satisfação entre os recortes analisados, o índice PET o coloca na mesma faixa de conforto que o Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅), com percepção de “Calor” e valores mais baixos que o horário anterior, embora para o horário das 16h a temperatura do ar deveria apresentar valores mais elevados.

No entanto, esse decaimento dos valores de PET pode ser explicado pela queda de temperatura do ar ocorrida no dia 17 de dezembro durante o horário da coleta de dados interferindo no índice de conforto, mas não sendo suficiente para impactar a percepção dos usuários.

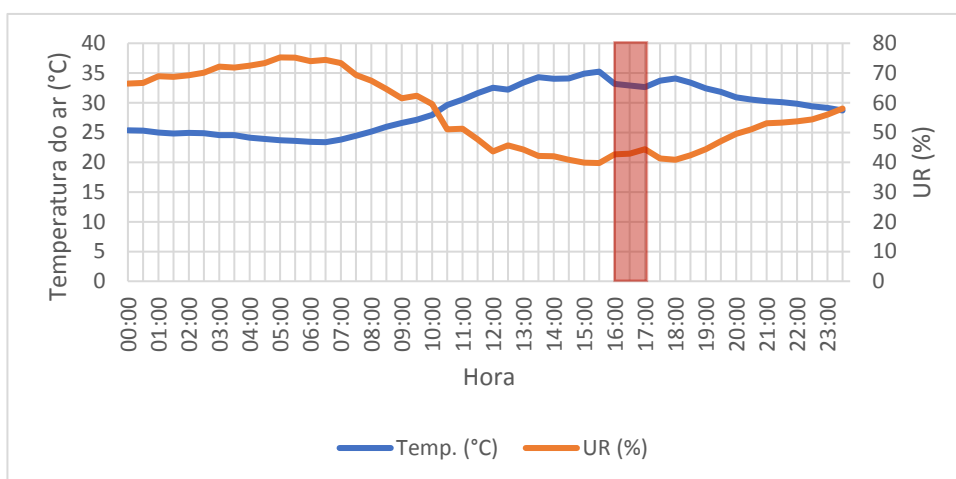


Figura 31 - Variação da Temperatura x UR para o dia 17/12 na Praça do Mercado

A variação encontrada no Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅) anteriormente diminuiu no horário da tarde (33,6°C a 39,5°C), com a média 36,9°C se manteve na faixa de “Calor”. O índice PET no Ponto 4 (FESC - ZCL2₃) variou de 37,6°C a 45,7°C, se mantendo entre as faixas de “Calor” e “Muito Calor”, condizendo com a percepção dos usuários.

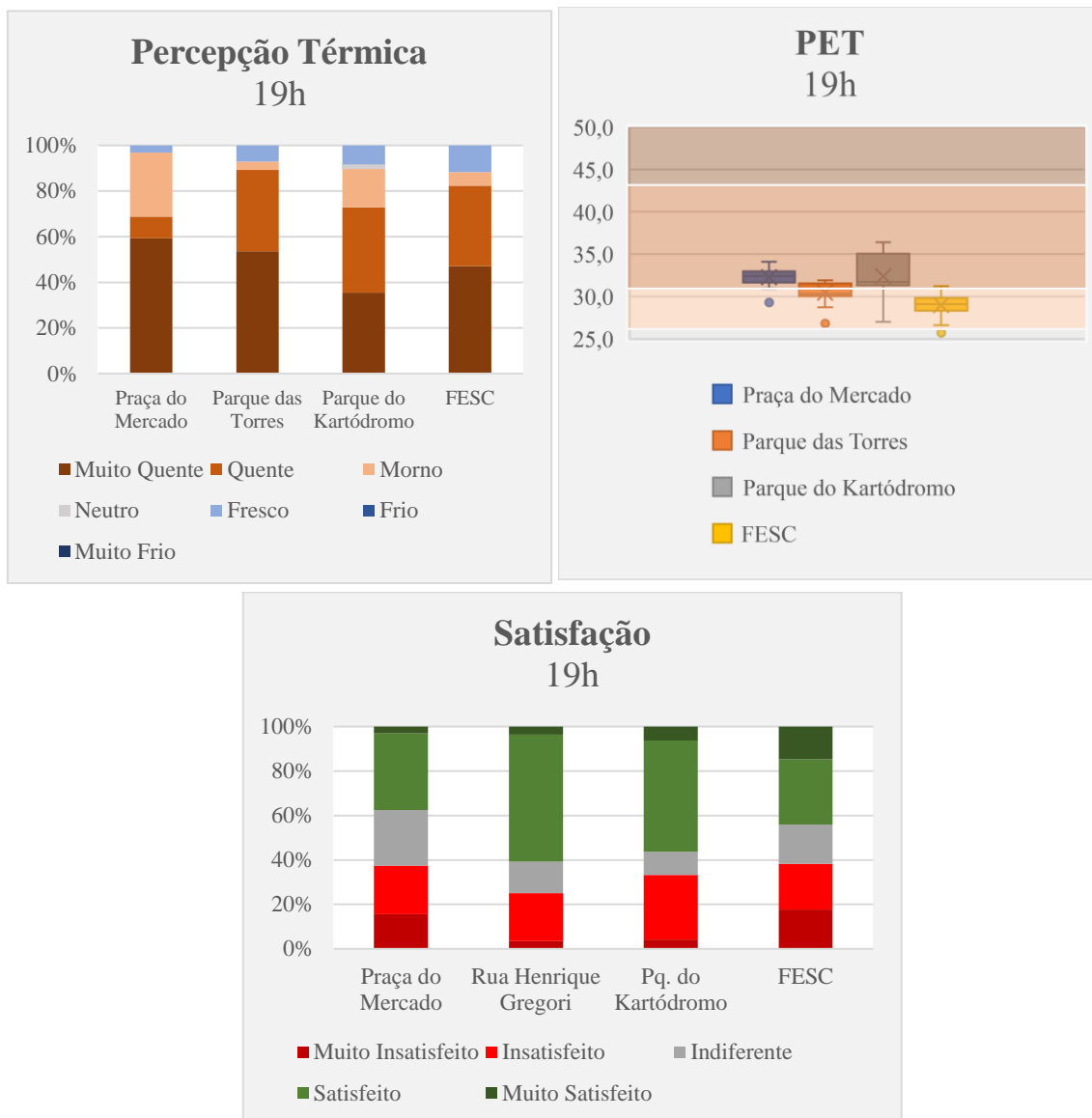


Figura 32 - Conforto térmico subjetivo, calculado e Satisfação – 19h - 20h

Conforme esperado, em virtude da queda de temperatura, os votos de percepção “Muito Quente” diminuíram, porém, continuam prevalecendo na maioria dos pontos. Somente o Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL65) apresentou a maioria de votos com a percepção “Quente” (38%), no entanto, o número de votos para “Muito Quente” também apresentou quantidade semelhante (35%).

O Ponto 2 (Parque das Torres – ZCL3B), apesar de demonstrar o maior índice de calor (54% “Muito Quente” mais 36% “Quente”) foi o ponto que obteve maior satisfação no horário das 19h. Ainda nesse ponto ocorreu uma grande diminuição nos valores de PET. Tanto no Ponto 4 (FESC - ZCL23) quanto no Ponto 2 (Parque das Torres – ZCL3B) o índice

de conforto calculado indicou uma redução de aproximadamente 10°C em relação ao horário anterior, passando para a faixa de “Calor”.

O Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅) mesmo se mantendo na faixa de “Muito Calor”, sofreu redução de aproximadamente 5°C em relação à média do índice de conforto no período anterior, alcançando 56% de satisfação.

Os resultados mostram que nos três horários o desconforto por calor foi predominante. Com altas temperaturas e espaços bastante impermeáveis, os locais mostram-se satisfatórios ao usuário a medida em que conseguem prover pontos de sombreamento.

Dessa forma, espaços como o Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL 2), onde há ausência de vegetação e grande quantidade de áreas impermeáveis e construídas acarretam um nível maior de desconforto térmico e grande insatisfação dos usuários. Em contraponto, locais como o Ponto 2 (Parque das Torres – ZCL3_B), ainda que demonstrem desconforto térmico pelo índice calculado e pela percepção do usuário, obtêm grande porcentagem de satisfação.

Unger, Skarbit e Gál (2018) encontraram resultado semelhante na Hungria, em que o índice PET nas ZCL 2 e 3 foi 3°C maior que nas demais zonas mais abertas e vegetadas, assim como Lau, Chung e Ren (2019) observaram em Hong Kong. Para ambas as pesquisas a percepção dos usuários para essas ZCL também resultaram em mais de 50% de desconforto por calor.

O Ponto 1 (Parque do Kartódromo - ZCL6₅) e o Ponto 4 (FESC - ZCL2₃) possuem maior circulação de pessoas nas pistas de caminhada, no entanto, estas encontram-se com pouca ou nenhuma arborização. Por outro lado, possuem vegetação, árvores e pontos de sombreamento ao redor, o que favorece a satisfação mesmo em momentos de calor.

Destaca-se, também, a importância do uso do espaço na satisfação dos usuários, assim, os Pontos 1, 2 e 4, sendo locais onde os respondentes estavam para prática de atividade física ou de lazer apresentaram grande satisfação. Ao contrário do Ponto 3, em que por se situar na região de comércio da cidade, grande parte das pessoas frequentam por necessidade (trabalho ou compras) e os resultados apontam para insatisfação térmica em todos os períodos.

Tais observações têm sido consideradas por pesquisas (LABAKI *et al.* (2012), BRUSANTIN; FONTES (2009), FONTINI; FONTES (2010)) que apontam a influência de equipamentos e qualificadores urbanos, assim como, das atividades realizadas no espaço para o uso e a satisfação dos usuários no ambiente urbano.

4.4 Espacialização das médias de PET

A Figura 33 mostra como o conforto térmico se comporta nos quatro pontos em cada horário de coleta, no contexto da cidade. É possível perceber que no período da manhã o centro da cidade (ZCL 2) apresentou um valor médio de PET cerca de 5°C superior às demais áreas. A diferença pode ser explicada devido as características encontradas nesse ponto como a grande porcentagem de área impermeável.

Às 16h a região no entorno do Ponto 2 (Parque das Torres – ZCL3_B) superou as demais áreas. No entanto, é preciso considerar que nesse ponto, ainda que haja a presença de vegetação, esta se encontra adjacente a vias de trânsito com fluxo intenso de veículos.

Percebe-se às 19h que todos os pontos tiveram uma redução no valor de PET, no entanto essa queda foi maior nos pontos situados a nordeste e sudoeste (FESC – ZCL 2₃ e Parque das Torres – ZCL3_B), pontos de maior altitude.

O maior índice PET atingido foi no horário das 16h-17h, chegando a 48,6°C, no Ponto 2 (Parque das Torres – ZCL3_B), região com grande quantidade de arborização, porém a maior porcentagem de área construída e a segunda maior porcentagem de área impermeável entre os quatro pontos.

Os Pontos 2 (Parque das Torres - ZCL3_B) e 4 (FESC - ZCL2₃) apresentaram as maiores médias, 40,3°C e 41,7°C respectivamente. Por outro lado, esses dois pontos apresentaram a maior redução no índice de conforto no início da noite, chegando a demonstrar o valor da média PET cerca de 10°C mais baixo que no período anterior. Ainda assim, a percepção declarada pelos usuários foi “Muito Quente” nos dois períodos, indicando grande desconforto térmico para os usuários.

Os pontos 1, 2 e 3 são demarcados como Área de Interesse Ambiental (AIA), em que uma das diretrizes prevê a promoção de ações para mitigar os efeitos do aumento de

temperatura associado às mudanças climáticas a nível local (SÃO CARLOS, 2016). Porém não existem orientações ou planos que direcionem tais medidas.

Além disso, o zoneamento urbano da cidade de São Carlos estabelece que os pontos 3 e 4 encontram-se na Zona 1 (Ocupação Consolidada), enquanto o Ponto 1 situa-se na Zona 2 (Ocupação Induzida) e o Ponto 2 na Zona 3 (Ocupação Condicionada). No entanto, os coeficientes urbanísticos indicam taxa de ocupação de 70% e de permeabilidade de 15% nessas regiões e no seu entorno imediato (SÃO CARLOS, 2016).

Dessa maneira, verifica-se que a legislação urbana aponta para o adensamento dessas regiões, que compõem grande parte da malha urbana e que, de acordo com os resultados aqui apresentados já oferecem grande desconforto por calor durante o verão.

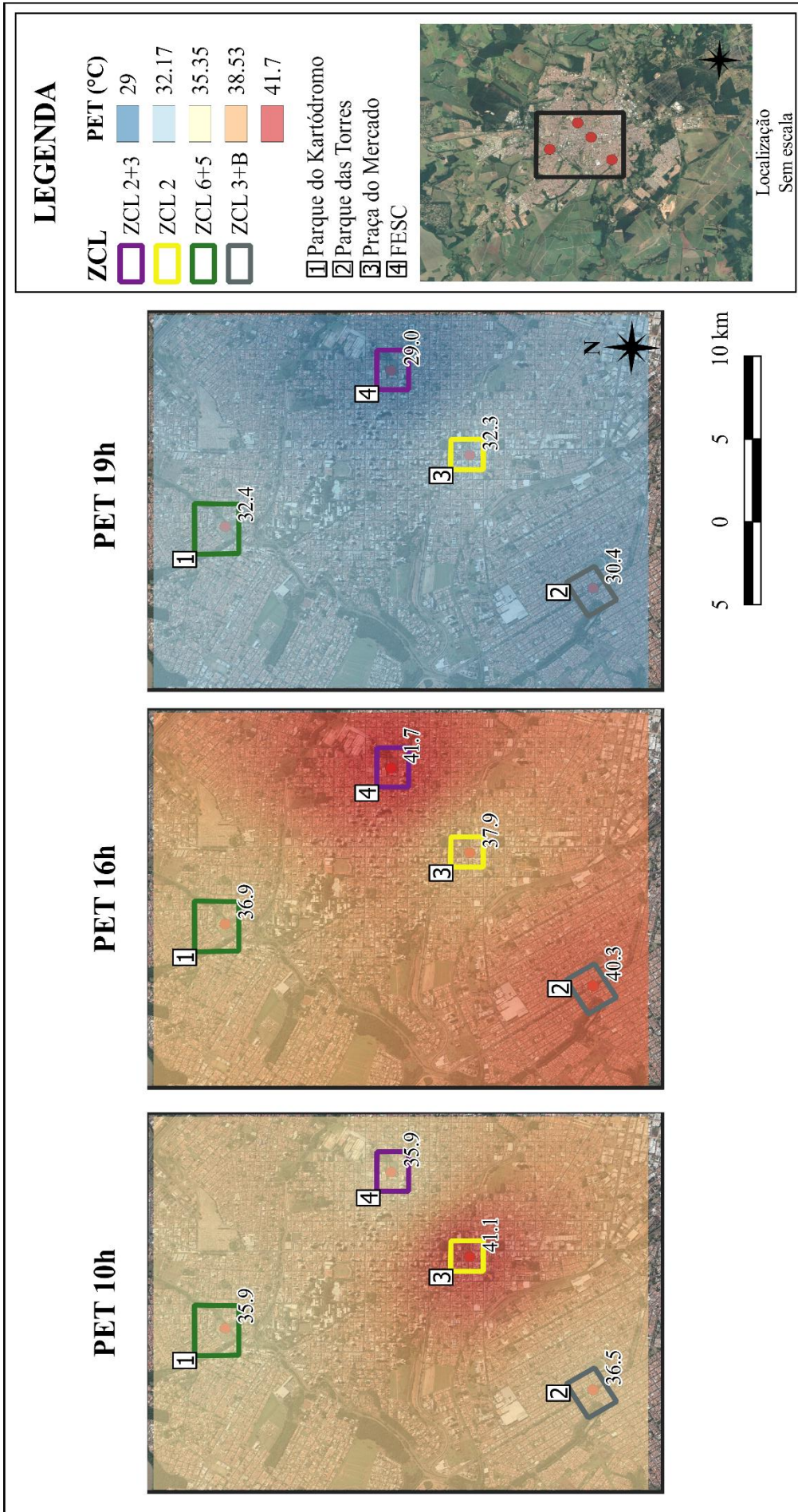


Figura 33 - Espacialização dos valores de PET para 10h, 16h e 19h
Fonte: a autora

4.5 Correlação Linear: PET x Parâmetros das ZCL

A correlação mais forte encontrada entre os valores de PET e os parâmetros analisados foi sobre a altura média dos elementos de rugosidade ($R=0,96$ - Tabela 11) às 10h, apontando que quanto maior for esse parâmetro, maior será o valor de PET. Elementos como árvores e edifícios de grande altura podem funcionar como obstáculos diminuindo a velocidade do vento, que aliado a altas temperaturas tende a proporcionar situações de desconforto térmico. Além disso, conforme apontou Krüger e Gonzalez (2016), cânions urbanos com paredes altas podem fazer com que a radiação de ondas longas seja refletida nas paredes do cânion. O estudo de Yahia *et al.* (2018) também concluiu que áreas com prédios baixos levam a espaços urbanos mais estressantes do que áreas com prédios altos.

Tabela 11 - Correlação entre o Índice PET e os Parâmetros das ZCL

	Área Permeável	Área Impermeável	Área Construída	H/W	FVC	Altura Média
PET 10h	R= -0,76	R= 0,76	R= 0,11	R= 0,29	R= -0,22	R= 0,96
PET 16h	R= -0,29	R= -0,14	R= 0,67	R= 0,30	R= -0,36	R= -0,13
PET 19h	R= 0,11	R= 0,28	R= -0,52	R= -0,12	R= 0,20	R= 0,27

* Gráficos de dispersão no apêndice B

Fonte: a autora

Ainda para o horário das 10h, dois outros parâmetros apresentam alta correlação com o índice de conforto: área permeável (correlação negativa) e área impermeável (correlação positiva). No entanto, no horário das 16h obtém-se correlação positiva também para a área construída ($R=0,67$). O resultado aponta para o aumento dos valores de PET a medida em que se aumentam a quantidade de área impermeável e construída e a diminuição desses valores a medida em que se aumentam as áreas permeáveis. Sendo, assim, coerente com o que se esperava já que os materiais utilizados na impermeabilização do solo e nas paredes dos cânions permitem a irradiação de ondas longas, aumentando as temperaturas de superfície e do ar adjacente, gerando aumento também na TRM.

Para o horário das 16h os parâmetros área impermeável e altura média dos elementos de rugosidade passam a apresentar pequena correlação negativa, ou seja, a medida em que estes aumentam, os valores de PET diminuem. Tal fato pode ocorrer em consequência dos baixos valores de PET apresentados na área do Ponto 3 (Praça do Mercado – ZCL2) para

esse horário, já que por ser um ponto com grande quantidade de área impermeável esperava-se maiores valores de PET.

Às 19h o parâmetro que apresenta a maior correlação (negativa) foi a área construída ($R=-0,52$), indicando que a medida em que se diminui a quantidade de área construída os valores do índice de conforto aumentam.

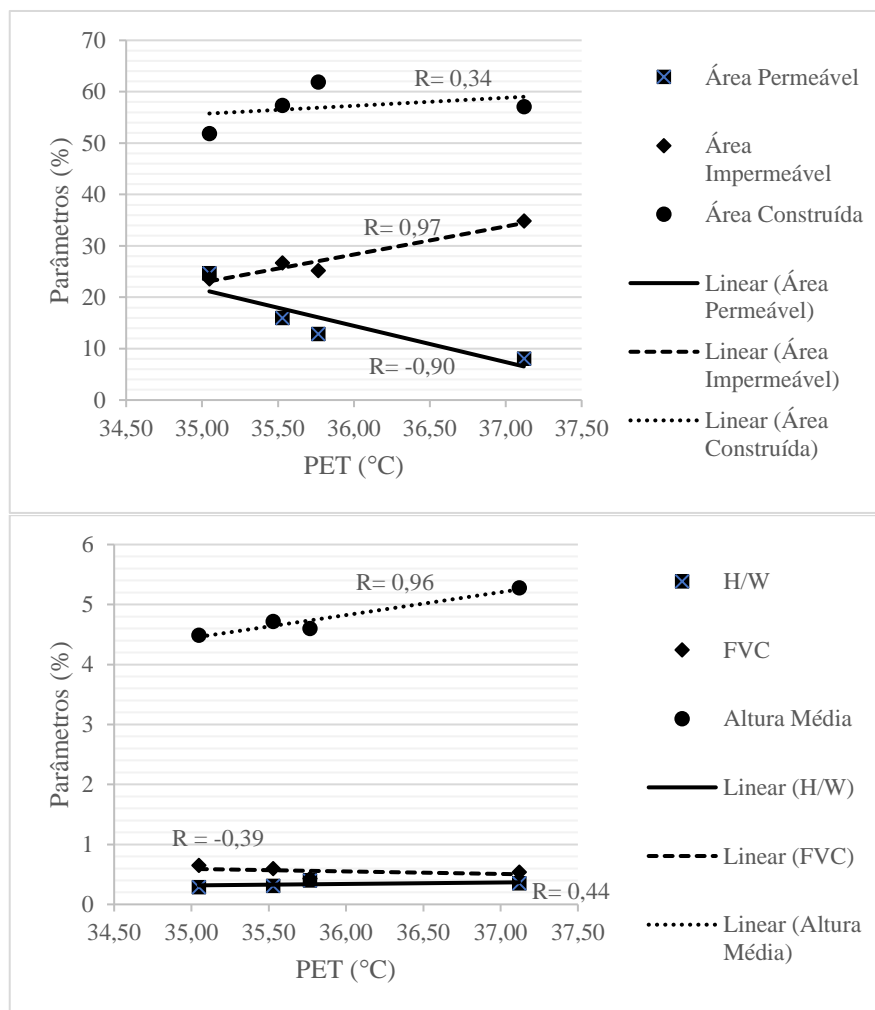


Figura 34 - Distribuição da relação entre ZCL e PET

No entanto, quando analisado o índice de conforto calculado para cada ponto, considerando a média aritmética dos três períodos ($PET=10h+16h+19h/3$) reafirma-se o resultado das 10h, onde os parâmetros que apresentam forte correlação são área permeável, área impermeável e altura média dos elementos de rugosidade (Figura 34).

Os parâmetros de relação H/W e FVC apresentam correlação fraca em todos os períodos, diferente do observado por Yahia *et al.* (2018), em que o FVC explica melhor a

variação no valor de PET do que a quantidade de área construída, já que o FVC considera a altura dos elementos.

Para as quatro diferentes situações analisadas, os parâmetros de altura média dos elementos, área impermeável, permeável e construída apresentaram correlação nos horários de maiores temperaturas, portanto, melhorias como o aumento de área permeável, substituição de materiais de baixo albedo por materiais de alto albedo e aumento de vegetação e sombreamento poderiam influenciar positivamente no conforto dos usuários desses espaços.

5 Considerações finais

Esse trabalho analisou a influência dos parâmetros da configuração urbana no conforto térmico dos usuários em quatro espaços públicos da cidade de São Carlos. A metodologia adotada se mostrou satisfatória a medida em que torna possível explicar as divergências no conforto térmico entre as áreas analisadas através das diferentes características estabelecidas por cada zona climática. A heterogeneidade existente nas cidades faz com que seja necessário sub-classificar as áreas, visto a dificuldade de encontrar espaços essencialmente uniformes. Ainda assim, percebe-se que, apesar de as áreas possuírem diferenças visualmente quanto à sua configuração urbana, alguns parâmetros podem possuir valores bastante semelhantes entre si, indicando uma generalização dos parâmetros.

Ainda quanto a metodologia, destaca-se que, apesar do sistema de classificação das zonas climáticas locais pretender, entre outras coisas, simplificar a caracterização de áreas, a ausência de um banco de dados com informações sobre os parâmetros analisados (como altura das edificações e largura das vias, por exemplo) debilita esse processo.

Essa pesquisa, assim como pesquisas similares realizadas anteriormente, verificou diferenças na temperatura do ar entre as zonas climáticas, especialmente entre a área rural e as zonas climáticas com grande porcentagem de área construída, onde as temperaturas médias foram, consideravelmente, mais altas.

De maneira geral, tanto o índice calculado quanto o índice subjetivo mostraram que, no verão, os locais analisados apresentam condições de estresse térmico ao usuário, com grande percepção de calor. No entanto, observou-se que regiões com menor taxa de impermeabilidade, abundância de vegetação e arborização oferecem melhores condições de conforto térmico.

Os resultados foram, ainda, confirmados pela análise de correlação, em que se constatou a influência dos parâmetros altura média dos elementos, área impermeável, permeável e construída no conforto térmico dos usuários, especialmente nos horários de maiores temperaturas.

Observou-se, ainda, a influência do uso dos espaços, sendo que os usuários se mostram muito mais satisfeitos com o ambiente térmico em espaços de lazer. Outro fator que merece destaque é a altitude, espaços situados em alturas maiores, ainda que possuam grande quantidade de área construída, podem apresentar boas condições de conforto e temperatura do ar.

O conforto térmico, além das variáveis individuais (fisiológicas), depende de um conjunto de variáveis microclimáticas que podem ser alteradas de acordo com a configuração de um dado local. Sendo importante que se analise o contexto em que cada parâmetro está inserido, visto que sua simples alteração pode não apresentar os resultados esperados.

Os resultados aqui expressos possibilitaram conhecer o nível de conforto térmico de espaços urbanos na cidade de São Carlos no verão, que é um local situado na principal região comercial da cidade, com circulação intensa de pessoas todos os dias e entender as relações entre o conforto térmico e a geometria dos espaços analisados, apontando possíveis soluções.

Dada a importância das áreas vegetadas e do sombreamento para o conforto térmico em espaços públicos ao ar livre e destacando a insatisfação térmica da população com os espaços com grande quantidade de área construída, espera-se que melhorias como o aumento de cobertura vegetal, substituição de materiais de baixo albedo por materiais de alto albedo e aumento da arborização e sombreamento poderiam influenciar positivamente no conforto dos usuários desses espaços.

As diretrizes de planejamento urbano existentes na cidade, no entanto, consideram o limite mínimo de área permeável a ser adotado de 15% e o máximo coeficiente de ocupação 70% na maior parte da malha urbana, especialmente na região central, onde já existe grande porcentagem de área construída contribuindo para o acúmulo de calor. É inegável que o adensamento urbano possa trazer contribuições ao microclima local e ao conforto térmico, visto que pode promover condições de sombreamento e controle do fluxo de vento. Contudo, é importante que se considere a criação de espaços no interior da cidade com arborização e abundância de área permeável capazes de promover o arrefecimento dessas regiões, que comumente são mais aquecidas especialmente durante o verão, possibilitando, assim, melhores condições de conforto térmico.

Dessa forma, a análise aqui apresentada, além de reunir dados microclimáticos em diferentes regiões da cidade com distintas características de forma e cobertura do solo, mostrou o impacto de cada configuração no conforto térmico dos habitantes. Os resultados encontrados podem auxiliar o planejamento urbano, facilitando tomadas de decisões e o projeto de novos ambientes urbanos, além de possibilitar que melhores condições sejam propostas, inclusive através da alteração nos parâmetros urbanísticos estabelecidos pela legislação.

Não se pretende, no entanto, generalizar a aplicação das medidas. Sugere-se, assim, que novos estudos possam indicar através de simulações as melhores opções de materiais de superfície e a melhor maneira de dispor o sombreamento, incluindo arborização de maneira a possibilitar o fluxo de ventos e permitir a refletância dos materiais.

Recomenda-se, ainda, que futuras pesquisas possam analisar outros períodos e em outras regiões da cidade, visando contemplar o conforto térmico também no período frio e com uma gama maior de zonas climáticas, visto que a geometria aqui analisada pode se comportar de maneira diferente em temperaturas mais amenas.

Referências

- ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 115, p. 333-340, 2013.
- ACHOUR-YOUNSI, S.; KHARRAT, F. Outdoor Thermal Comfort: Impact of the Geometry of an Urban Street Canyon in a Mediterranean Subtropical Climate – Case Study Tunis, Tunisia. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 216, n. October 2015, p. 689–700, 2016.
- ALEXANDER, P; MILLS, G. Local Climate Classification and Dublin’s Urban Heat Island. **Atmosphere**. v.5, n. 4, p. 755-744, 2014.
- ALI, S. B.; PATNAIK, S. Thermal comfort in urban open spaces: Objective assessment and subjective perception study in tropical city of Bhopal, India. **Urban Climate**, v. 24, n. October 2017, p. 954–967, 2018.
- ARABADZHIEVA, G. Urban Climate Adaptation in Bulgaria. 2016. 61 f, Wageningen University, Holanda
- ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, R. AND A. E. ASHARE Standard 55. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. p. 1–52, 2003.
- ASSIS, E. S. DE. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **RUA. Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 7, p. 20–25, 2006.
- BARANDIER, H. Planejamento e controle ambiental-urbano e a eficiência energética. Guia Técnico. Rio de Janeiro: BAM/DUMA; ELETROBRAS/PROCEL, 2013.
- BLAZEJCZYK, K.; EPSTEIN, Y. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, v. 56, n. 3, p. 515–535, 2012.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Brasília: MMA, 2016. 2 v. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>>. Acesso em: 27 abril 2017.
- BRASIL. Decreto n. 6.263, de 21 de nov. de 2007. PLANO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – PNMCI. Institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - CIM, orienta a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e dá outras providências. Brasília, nov. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6263.htm>. Acesso em: 08 maio 2017
- BRASIL. Lei 10.257 de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 8 mai. 2017.
- BRASIL. Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm>. Acesso em: 8 mai. 2017.
- BRASIL. Lei 6766, de 19 de dezembro 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm>. Acesso em: 8 mai. 2017.

BROTO, V. C.; BULKELEY, H. A survey of urban climate change experiments in 100 cities. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 1, p. 92–102, 2013.

BRUSANTIN, G. N.; FONTES, M. S. G. de C. Conforto Térmico Em Espaços Públicos De Permanência : Uma Experiência Na Cidade De Bauru-Sp. p. 441–449, 2009.

CHENG, V. *et al.* Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: A longitudinal study based in Hong Kong. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 1, p. 43–56, 2012.

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: < <https://www.cptec.inpe.br/>>

EMMANUEL, R. Performance standard for tropical outdoors: A critique of current impasse and a proposal for way forward. **Urban Climate**, p. 1–10, 2017.

EMMANUEL, R.; FERNANDO, H. J. S. Urban heat islands in humid and arid climates: Role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. **Climate Research**, v. 34, n. 3, p. 241–251, 2007.

FAUSTINI, B. F.; FONTES, M. S. G. C. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos no calçadão da Batista de Carvalho em Bauru-SP, Brasil. In: 4o Congresso Luso Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, Faro-Portugal. **PLURIS**. 2010

FESC – Fundação Educacional de São Carlos. Disponível em: < <http://fesc.com.br/>>

GÁL, T.; SKARBIT, N.; UNGER, J. Urban heat island patterns and their dynamics based on an urban climate measurement network. **Hungarian Geographical Bulletin**. v.65, n. 2, p. 105-116, 2016

GARTLAND, L. Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248p.

GIVONI, B. *et al.* Outdoor comfort research issues. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 77–86, 2003.

HERRMANN, J.; MATZARAKIS, A. Mean radiant temperature in idealised urban canyons-examples from Freiburg, Germany. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 1, p. 199–203, 2011.

HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S.; FERREIRA, D. G. Calibração do índice de conforto térmico temperatura equivalente fisiológica (pet) para espaços abertos do município de Belo Horizonte - MG. In: ENCAC, XI., 2011, Búzios - RJ. ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído... [S.l.: s.n.], 2011. p. 1-9. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2011/topico2artigo47.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, n. 2, p. 71–75, 1999.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**. Ergonomics of the thermal environment: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genève: ISO, 1995

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**. Ergonomics of the thermal environments – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève: ISO, 2005

IPCC, 2014: Sumário para os tomadores de decisão do Quinto relatório de avaliação (2014). Traduzido por Iniciativa Verde, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.iniciativaverde.org.br/lib/php/download.php?cfg=1&arq=produtos/37_2015_05_04_relatorio_ipcc_portugues.pdf&pub=1&mde=ProdItem&cod=37>. Acesso em: 25 ago. 2015.

JAMEI, E. *et al.* Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1002–1017, 2016.

JOHANSSON, E. *et al.* Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies - The need for standardization. **Urban Climate**, v. 10, n. P2, p. 346–366, 2014.

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, n. 10, p. 1326–1338, 2006.

KATZSCHNER, L. Planejamento Urbano Sob a Consideração Da Mudança Climática Global. **FORUM PATRIMÔNIO: ambiente construído e patrimônio sustentável**. Belo Horizonte , v. 4, n. 1, 2010.

KRÜGER, E. L. *et al.* Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 7–25, 2012.

KRUGER, E. L.; DRACH, P. Identifying potential effects from anthropometric variables on outdoor thermal comfort. **Building and Environment**, v. 117, p. 230–237, 2017.

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.

LABAKI, L. C. *et al.* Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 167–183, 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. 382 p.

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

LAU, K. K.L.; CHUNG, S. C., REN C. Outdoor thermal comfort in different urban settings of subtropical high-density cities: An approach of adopting local climate zone (LCZ) classification. **Building and Environment**, v. 154, p. 227-238, 2019

MATZARAKIS, A.; AMELUNG, B. Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health. **Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health**, n. May 2014, 2008.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; Another kind of environmental stress: thermal stress. **WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control Newsletters**, v. 18, p. 7-10, 1996

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 2, p. 131–139, 2007.

- MIDDEL, A. *et al.* Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. **Landscape and Urban Planning**, v. 122, p. 16–28, 2014.
- MILLS, G. Cities as agents of global change. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 14, p. 1849–1857, 30 nov. 2007.
- MILLS, G. *et al.* Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). **Procedia Environmental Sciences**, v. 1, p. 228–246, 2010.
- MILLS, G. *et al.* Introduction to the WUDAPT project. In 9th International Conference on Urban Climate. **ICUC 9**, Toulouse, France. 2015.
- MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, 6**, n. September, p. 208–217, 2009.
- MONTEIRO, C. A. F. (1976) *Teoria e clima urbano*. Tese (Livre Docência em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos. v. 3, n. 2, p. 1–24, 2010.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões teóricas de conforto térmico. p. 43–58, 2007.
- MÜLLER, N.; KUTTLER, W.; BARLAG, A. B. Counteracting urban climate change: Adaptation measures and their effect on thermal comfort. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 115, n. 1–2, p. 243–257, 2014.
- NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 73-87, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212016000300073&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 09 Mar. 2019.
- NG, E.; CHENG, V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 51–65, 2012.
- NIKOLOPOULOU, M.; LYKOUDIS, S. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: analysis across different European countries. **Building and Environment**, v.41, n. 11, p. 1455-1470, 2006.
- NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. Thermal Comfort and Psychological Adaptation as a Guide For Designing Urban Spaces. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 95-101, 2003.
- NOBRE, C. A. *et al.* Vulnerabilidades Das Megacidades Brasileiras Às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo - Relatório Final, São José dos Campos, SPINPE, 2011.
- NOBRE, C. A. Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo: relatório final / Carlos A. Nobre, coordenador. – São José dos Campos, SP: INPE, 2011. 192 p.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. [s.l.] Taylor & Francis Group, 1978.
- OKE, T. R. Canyon Geometry and the Urban Heat Island. **Journal of Climatology**, v. 1, p. 237–254, 1981.

OLGYAY, Victor. *Arquitetura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1963

PARK, Y. *Adapting and Communicating Urban Climate by Design*. 2015. 138 f. Dissertação (Mestrado em Landscape Architecture) - Wageningen University, Holanda

PERERA, N. G. R.; EMMANUEL, R. A “Local Climate Zone” based approach to urban planning in Colombo, Sri Lanka. **Urban Climate**, v. 23, p. 188–203, 2016.

QIU, L. *Urban Climate Adaptation in Urban Planning and Design Process: Exploring the Current Situation in China*. 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado em Urban Environment Management) - Wageningen University, Holanda

ROMERO, M. A. B. *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. São Paulo, ProEditores, 2000. 128p.

RUTZ, F; MATZARAKIS, A.; MAYER, H. **RAYMAN**. Versão 1.2. Meteorological Institute of the University of Freiburg, Germany. 2000. Disponível em: <<https://www.urbanclimate.net/rayman/>>

SALDIVA, P.; VORMITTAG, E. A saúde precária de uma velha senhora. **Scientific American BRASIL**, p. 28–39, 2010.

SANTAMOURIS, M. Regulating the damaged thermostat of the cities - Status, impacts and mitigation challenges. **Energy and Buildings**, v. 91, p. 43–56, 2015.

SÃO CARLOS (PREFEITURA). Lei 18.053 de 19 de dezembro 2016 – Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos. Disponível em <http://www.saocarlosoficial.com.br/diariooficial/001/DO_28122016_HNGB66.pdf>. Acesso em: 24 mai 2017.

SHIMAKAWA, A. H.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. Aplicação dos modelos preditivos de conforto PET e PMV em Presidente Prudente-SP: estudo de caso -parque do povo. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. Anais...Natal, RN: ENTAC, 2009

SKARBIT, N. et al. Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the ‘local climate zones’ of Szeged, Hungary. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 1, p. 582–596, 2017.

SOBRAL, H. R. Heat island in São Paulo, Brazil: Effects on health. **Critical Public Health**, v. 15, n. 2, p. 147–156, 2005.

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. 4, p. 155–167, 2010.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012.

TOLENTINO, M., 2007. Estudo crítico sobre o clima da região de São Carlos. São Carlos: EdUFSCar. 78 p.

TSOKA, S. Investigating the Relationship Between Urban Spaces Morphology and Local Microclimate: A Study for Thessaloniki. **Procedia Environmental Sciences**, v. 38, p. 674–681, 2017.

UNGER, J. SKARBIT, N, GÁL, T. Evaluation of outdoor human thermal sensation of local climate zones based on long-term database. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, p. 183-193, 2018.

VILLADIEGO, K.; VELAY-DABAT, M. A. Outdoor thermal comfort in a hot and humid climate of Colombia: A field study in Barranquilla. **Building and Environment**, v. 75, p. 142-152, 2014.

VOLPATO, G; BARRETO, R. Estatística sem dor. Botucatu: Best Writing, 2011. 64p

WEI, R. *et al.* Impact of Urban Morphology Parameters on Microclimate. **Procedia Engineering**, v. 169, p. 142–149, 2016.

YAHIA, M.W. *et al.* Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. **Int J Biometeorol**, v. 62, n. 3, p. 373-385, 2018.

Apêndice

A. Questionário

ID:

Hora início:

Hora término:

Sol	Sombra
-----	--------

Temp Ar:	Temp Globo:	Vel vento:
----------	-------------	------------

Sexo

Masculino

Feminino

Idade:

Peso:

Altura:

Você reside em São Carlos há quanto tempo?

Há quanto tempo você está em ambiente aberto?

Mais de 15 min

Menos de 15 min

Atividade nos últimos 6min:



Atividades físicas e respectivas metabólicas

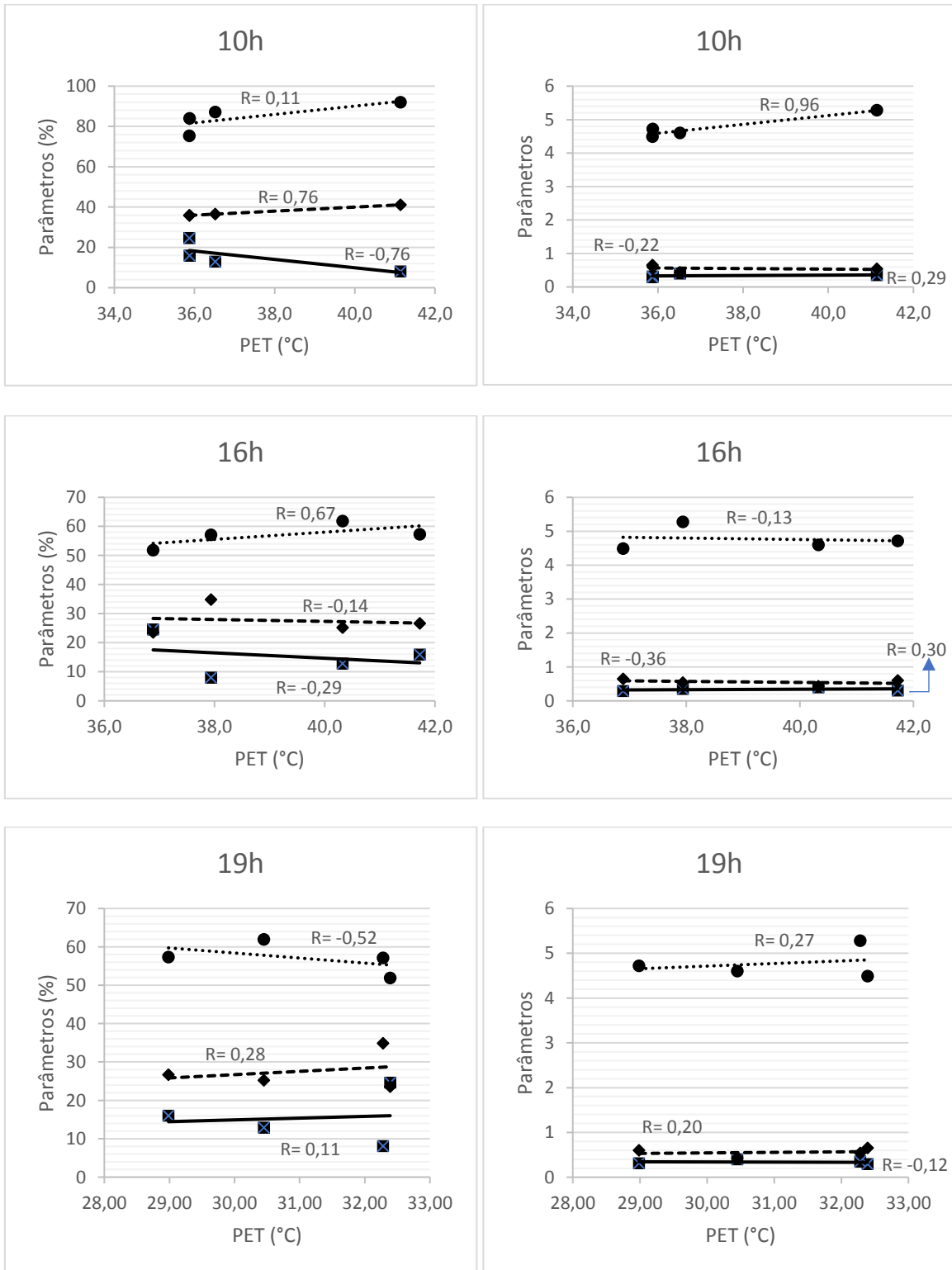
Vestimenta

Camisa	Calça	Blusa de Frio	Tênis	
Camiseta MC	Bermuda	Vestido	Sandália	
Regata	Short	Camiseta ML	Chinelo	

Como você está se sentindo nesse momento com relação a temperatura do ar?	Muito Frio	Frio	Fresco	Neutro	Morno	Quente	Muito Quente
---	------------	------	--------	--------	-------	--------	--------------

Quão satisfeito você está com a temperatura nesse ambiente?	Muito satisfeito	Satisfeito	Indiferente	Insatisfeito	Muito Insatisfeito
---	------------------	------------	-------------	--------------	--------------------

B. Gráficos de dispersão: ZCL x PET



Legenda

- Área Construída
- ◆ Área Impermeável
- Área Permeável

Legenda

- Altura Média
- ◆ FVC
- H/W