XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MORFOLOGIAS NO CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS EM ESPAÇOS URBANOS ABERTOS

Maria Eugênia Fernandes (1); Luis Fernando Kowalski (2); Érico Masiero (3)
(1) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Arquiteta e Urbanista, fernandes.me88@gmail.com
(2) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Engenheiro Civil, luizfernando.lfk@gmail.com
(3) Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Civil, erico@ufscar.br
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Conforto, Rod. Washington Luiz, s/n, São Carlos - SP, 13565-905, Brasil, Tel:.+55 (16) 3351-8263

RESUMO
Os impactos climáticos negativos gerados pela urbanização, tendem a influenciar na saúde da população, cabendo ao planejamento urbano promover espaços com maior qualidade térmica. O desenho urbano tem sido estudado como uma estratégia capaz de controlar as variáveis climáticas e melhorar as condições de conforto. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa é analisar o conforto térmico em dois espaços públicos abertos e a sua relação com as diferentes configurações urbanas Para isso, duas frações urbanas da cidade de São Carlos foram caracterizadas de acordo com o sistema de classificação das Zonas Climáticas Locais, posteriormente foram realizadas coletas de dados microclimáticos e entrevistas para investigar a satisfação, percepção e o nível de conforto dos usuários. Os resultados mostram que a região caracterizada como LCZ 6_5, com maior porcentagem de área permeável, maior FVC e menor relação H/W ofereceu melhores condições de conforto às 10h e 16h. Às 19h ambos os espaços se comportaram de maneira semelhante. No entanto, os entrevistados se mostraram mais satisfeitos no espaço com mais áreas verdes. Essa análise ressalta a importância de espaços urbanos com abundância de vegetação e estruturas de sombreamento, incluindo arborização na promoção de maior qualidade térmica para a população.
Palavras-chave: conforto térmico, geometria urbana, índice PET, Zonas Climáticas Locais.

ABSTRACT
The negative climatic impacts generated by urbanization, impact on the health of the population, being the responsibility of urban planning to promote spaces with higher thermal quality. Urban design has been studied as a strategy capable of controlling climatic variables and improving comfort conditions. Thus, the objective of this research is to analyze the thermal comfort in two open public spaces and its relation with the different urban configurations. For this, two urban fractions of the city of São Carlos were characterized according to the classification system of the Local Climate Zones. Later, microclimatic data collections and interviews were conducted to investigate users' satisfaction, perception and level of comfort. The results show that the region characterized as LCZ 65, with higher percentage of permeable area, higher FVC and lower H / W ratio offered better comfort conditions at 10h and 16h. At 19h both spaces behaved in a similar way. However, respondents were more satisfied in the space with more green areas. This analysis highlights the importance of urban spaces with abundant vegetation and shading structures, including afforestation to promote higher thermal quality for the population.
Keywords: thermal comfort, urban geometry, PET index, Local Climate Zones.

1. INTRODUÇÃO

Mills *et al.* (2010) e Santamouris (2015) relatam a influência da urbanização sobre o clima natural. O crescimento das cidades acarreta uma série de disfunções, onde a substituição do pavimento natural por impermeável e a remoção de vegetação podem influenciar em eventos como aumento de ondas de calor, precipitação e ocorrência de ilhas de calor urbano, impactando na qualidade de vida da população. Dessa forma, observa-se a importância de proporcionar melhores condições de conforto aos usuários dos espaços urbanos.

Diversas pesquisas mostram o importante papel da geometria urbana para mitigar os problemas climáticos. Oke (1981) estudou a influência do fator de visão do céu (FVC) na formação de ilhas de calor urbano, questão também discutida por Souza *et al*. (2010).

Middel *et al*. (2013) analisaram o impacto da geometria na temperatura em diferentes cenários urbanos baseados na classificação das Zonas Climáticas Locais (Stewart e Oke, 2012), visando estabelecer padrões de desenho que contribuíssem para a redução das temperaturas urbanas e concluíram que o sombreamento causado pelos edifícios mais altos e são capazes de contribuir para o resfriamento. Além disso, os autores concluíram também que o sistema das ZCL pode ser importante para analisar e propor soluções urbanas bioclimáticas.

Emmanuel (2016), aponta que o desenho urbano sensível ao clima pode ser uma ferramenta para controlar determinadas variáveis climáticas. Assim, à medida em que a geometria interfere nas condições climáticas, também podem influenciar no conforto térmico das cidades.

Achour-Younsi e Kharrat (2016), analisaram a influência da geometria, através da relação H/W, FVC e orientação das vias no conforto térmico e relatou que maiores H/W resultavam em melhores condições de conforto térmico em condições de clima subtropical mediterrâneo. Gonzalez e Krüger (2016) estudaram o impacto de diferentes albedos no conforto térmico através da substituição dos materiais de superfície em cânions urbanos e concluíram que, apesar da diminuição da temperatura do ar, o aumento do valor do albedo das superfícies tende a piorar as condições de conforto térmico.

Thorson *et al* (2011) apresentaram a influência da geometria urbana no aumento da temperatura radiante média. Os resultados mostraram que a geometria pode causar grandes diferenças intra-urbanas na temperatura radiante média (trm) na escala horária, diária ou anual. Os autores mencionam que áreas abertas, em geral, tendem a ser mais quentes, dessa forma, áreas compactas poderiam atenuar os aumentos de trm e melhorar o conforto ao ar livre. A pesquisa ressalta, ainda, a importância dos estudos sobre a trm ou o conforto térmico na análise de cenários climáticos, visando mostrar melhor o impacto sobre os seres humanos.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é analisar o conforto térmico em dois espaços públicos abertos e a sua relação com as diferentes configurações urbanas.

3. MÉTODO

A presente pesquisa dividiu-se em três etapas descritas a seguir:

1 – Definição e caracterização dos espaços;
2 – Coleta de dados microclimáticos e pessoais para cálculo do índice de conforto;
3 – Coleta de dados da percepção térmica e satisfação dos usuários.

3.1. Definição e caracterização das áreas

Foram analisados dois recortes urbanos da cidade de São Carlos-SP. Ambos os espaços são públicos e abertos com grande fluxo de pessoas e localizados em fundo de vale.

A figura 1 mostra a localização dos pontos dentro da malha urbana.



Figura 1 – Posição das áreas de estudo na cidade de São Carlos
Fonte: Adaptado de Google Earth Versão 7.3.1.4507 (2019)

A Praça "Maria Apparecida Resitano" (figura 2a), conhecida como Praça do Mercado, localiza-se na região central da cidade, cujo entorno é composto por estabelecimentos comerciais. A área passou por uma revitalização em 2012, onde o córrego ali existente foi tamponado. Atualmente a área é utilizada para shows, feiras e eventos, além de ser um local de passagem para a população que frequenta o comércio.

O Parque do Kartódromo (figura 2b) se localiza na porção noroeste da cidade, na área onde existia uma pista de Kart, desativada em 2004 a pedido da população. Desde então, o espaço sofreu uma revitalização com a criação das pistas de caminhada, instalação de academia ao ar livre e parque infantil, além da substituição de piso, instalação de mobiliário urbano e melhoria na iluminação. Atualmente o espaço é utilizado para práticas de atividades físicas e lazer.



Figura 2 – a) Praça do Mercado e b) Parque do Kartódromo
Fonte: Adaptado de Google Earth Versão 7.3.1.4507 (2019)

A caracterização desses espaços foi realizada conforme o sistema de classificação das Zonas Climáticas Locais, proposto por Stewart e Oke (2012). Tal classificação se dá através da identificação de parâmetros como: Fator de Visão do Céu, Relação H/W, Porcentagem de área construída, permeável e impermeável, altura média dos elementos e classe de rugosidade.

Para o cálculo do FVC foram obtidas fotos com o auxílio de uma câmera fotográfica com lente olho de peixe. A foto foi, então, submetida ao software RayMan 1.2 (RUTZ; MATZARAKIS; MAYER, 2000) 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 cálculo do FVC, gerou-se a sua média aritmética.

Para o cálculo da relação H/W foi realizada a média geométrica das alturas dos edifícios e árvores e da largura das vias, considerando passeio e recuos frontais. As dimensões foram obtidas através das imagens do Google Street View (Google Maps, 2017) com checagem no local.

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 a partir das dimensões de cada área.

A classe de rugosidade urbana considerou a classificação de Davenport *et al.* (2000), conforme recomendado por Stewart e Oke (2012).

3.2 Coleta de dados microclimáticos e das variáveis pessoais

Foram realizados dois dias de coletas em cada um dos pontos analisados, nos horários das 10h-11h, 16h-17h e das 19h-20h[4]. Na Praça do Mercado a pesquisa foi realizada nos dias 17 e 20 de dezembro de 2018 e no Parque do Kartódromo nos dias 28 e 29 de janeiro de 2019.

O índice de conforto adotado para essa pesquisa foi o *Physiological Equivalent Temperature* (PET) (HOPPE,1999), sendo para tal necessários dados de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura média radiante, além de dados pessoais dos usuários.

Para a coleta dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar (UR) foi utilizado 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 foi medida com um termo -anemômetro Digital Instrutherm TAVR – 650 (2).

A trm foi obtida através da equação 1, conforme a ISO 7726/1998.

$$Trm = \left[(tg + 273)^4 + \frac{1{,}1x10^8 x\, Va^{0,6}}{Eg\ x\ D^{0,4}} x|tg - ta|\right]^{\frac{1}{4}} - 273 \qquad \text{Equação 1}$$

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]

Para tanto, foi necessário também coletar a temperatura de globo, o que foi realizado utilizando um termômetro de globo cinza concebido 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).

Conforme mostra a Figura 3, os equipamentos foram posicionados em um pedestal a aproximadamente 1,7m do solo, conforme recomendação da ISO 7726/1998 e, também, respeitando a limitação de altura do suporte.

[4] Os horários consideram o horário brasileiro de verão (GMT -2)

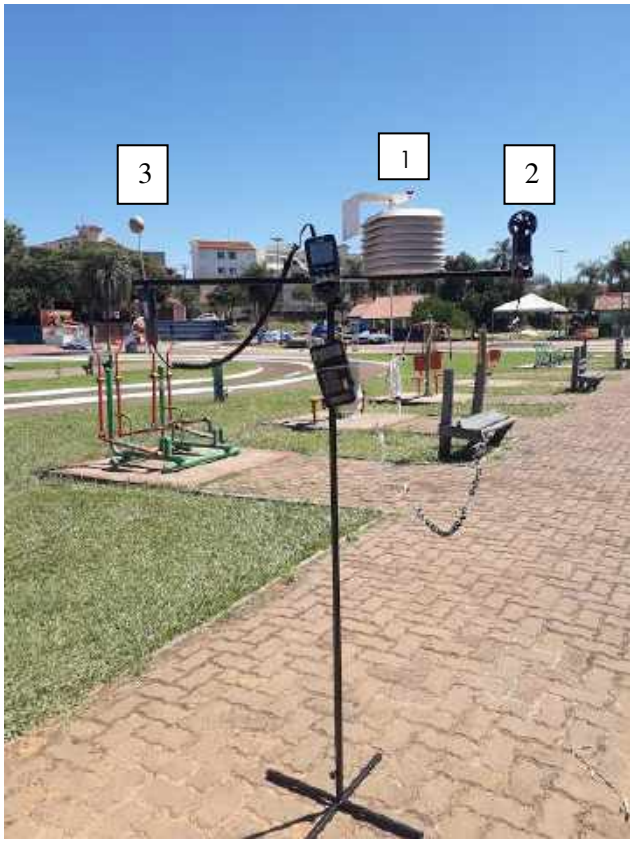


Figura 3 – Equipamentos utilizados para medição

Também foram realizadas, simultaneamente às medições, entrevistas com os usuários visando obter a idade, peso, altura. Além disso investigou-se o tipo de vestimenta e a atividade realizada por cada usuário para identificar o coeficiente de isolamento térmico da vestimenta (CLO) e a taxa metabólica (MET), conforme a ISO 7730/2005.

A amostragem foi definida em função do maior número de usuários disponíveis nos pontos em cada período. Foram realizadas 185 entrevistas, sendo 97 na Praça do Mercado e 88 no Parque do Kartódromo. Do total de entrevistados 60% pertence ao sexo masculino e 40% ao feminino, a idade média dos usuários foi de 36 anos, com 75kg e 1,70m. A média do coeficiente de isolamento foi 0,29 CLO e da taxa metabólica 230 W.

O cálculo do Índice PET foi realizado utilizando o software RayMan 1.2 (RUTZ; MATZARAKIS; MAYER, 2000) e considerou as variáveis pessoais declaradas por cada um dos usuários, bem como os dados microclimáticos coletados.

3.3 Coleta de dados da percepção térmica e satisfação dos usuários

Foram realizadas ainda entrevistas estruturadas, visando obter a percepção térmica dos usuários e a sua satisfação com o ambiente térmico.

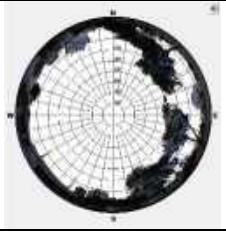
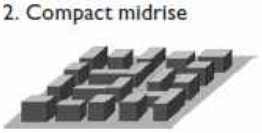
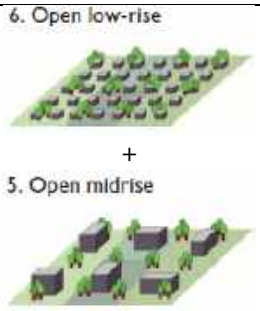
O questionário utilizado para avaliar a sensação de conforto adotou a escala de sete pontos, baseado na Norma Internacional - ISO 10551 (1995) e o que mede a satisfação foi baseado na ASHRAE 55 (2003), porém adotando-se uma escala de cinco pontos.

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

4. RESULTADOS

A caracterização dos espaços, de acordo com o sistema de Zonas Climáticas Locais, resultou em duas classes diferentes, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das ZCL

	Praça do Mercado	Parque do Kartódromo
		
Fator de Visão do Céu	0,54	0,65
Relação HxW	0,35	0,29
Superfície construída	57,09%	51,86%
Superfície impermeável	34,85%	23,53%
Superfície permeável	8,06%	24,61%
Altura média	5,28m	4,49m
Classe de rugosidade	6	5
Zona Climática Local		

Fonte: Os autores

A Praça do Mercado foi caracterizada como "*Compact midrise* (ZCL 2) ", segundo Stewart e Oke (2012) é um espaço com densa mistura de prédios médios (3 a 9 pavimentos), solo coberto por pavimentação e a presença de materiais como pedra, tijolo, telha e concreto, com pouca ou nenhuma árvore. O local possui grande porcentagem de área construída e impermeável, além disso por se localizar em região central e comercial, recebe um alto fluxo de veículos favorecendo o aumento do calor antropogênico.

Conforme Stewart e Oke (2012) sugerem, em algumas situações uma única classe pode não definir a área estudada devido à sua heterogeneidade, sendo necessária a combinação entre as classes. Dessa forma, o Parque do Kartódromo foi classificado como "*open low-rise* com open *midrise*", com abundância de cobertura permeável (plantas baixas, árvores dispersas), a presença de materiais como concreto, aço, pedra, vidro e com edifícios baixos (1-3 pavimentos) e médios (3-9 pavimentos).

Com relação a geometria dos cânions urbanos, nota-se que a Praça do Mercado possui maior relação H/W e altura média, enquanto o Parque do Kartódromo possui menor FVC, indicando áreas com maior porção de céu livre.

A figura 4 apresenta o resultado do índice PET nos três horários (10h, 16h e 19h) em cada um dos pontos.

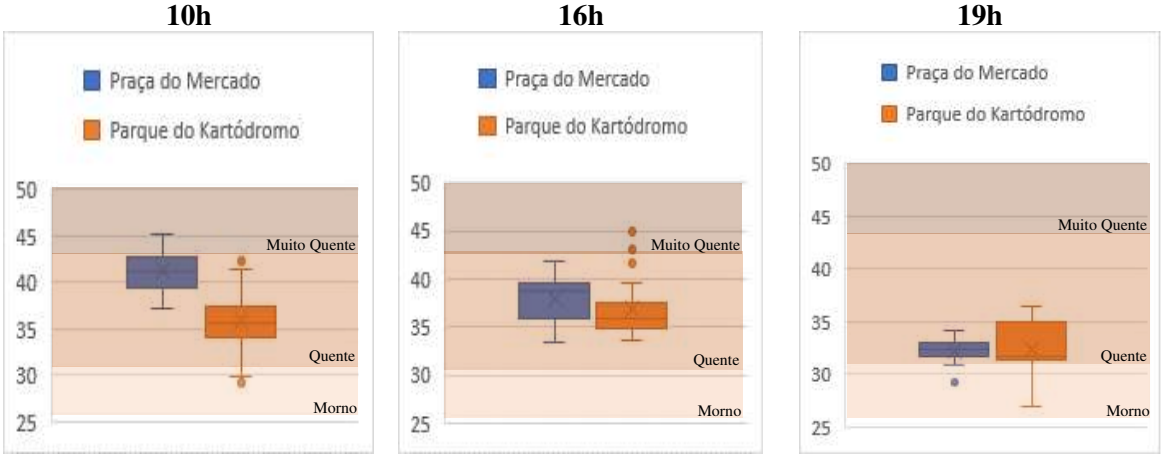


Figura 4 – Conforto térmico (PET)
Fonte: os autores

O conforto térmico calculado (PET) mostra que a Praça do Mercado (ZCL 2) apresenta piores condições de conforto para os horários da manhã e tarde. Nesse ponto o índice PET variou de 37°C a 45°C, no horário das 10h e de 33°C a 42°C às 16h. No Parque do Kartódromo a variação foi de 29°C a 41°C de manhã e 33°C a 39°C no período da tarde.

No horário das 19h, o Parque do Kartódromo apresentou maior variação do índice PET, indo de 27°C a 36°C, enquanto o outro ponto foi de 31°C a 34°C. No entanto, o valor médio de ambos foi aproximadamente 32°C, permanecendo na faixa de Calor. Tal fato pode se justificar pelo sombreamento que os edifícios maiores geram na região da Praça do Mercado.

As faixas de conforto do índice PET foram analisadas de acordo com a calibração proposta por Monteiro e Alucci (2010) para a cidade de São Paulo – SP (Quadro 1).

Quadro 1 – Calibração para a cidade de São Paulo - SP

PET	**Percepção térmica**
≤4°C	Muito frio
4°C<PET≤ 12°C	Frio
12°C<PET≤18°C	Pouco frio (Fresco)
18°C<PET≤26°C	Neutra
26°C<PET≤31°C	Pouco calor (Morno)
31°C<PET≤43°C	Calor (Quente)
>43°C	Muito Calor (Muito Quente)

Fonte: Adaptado de Monteiro e Alucci (2010)

Dessa forma, observa-se que o Parque do Kartódromo permaneceu predominantemente na faixa de "Quente", enquanto na Praça do Mercado 25% dos usuários chegaram a atingir a percepção de "Muito Quente" às 10h.

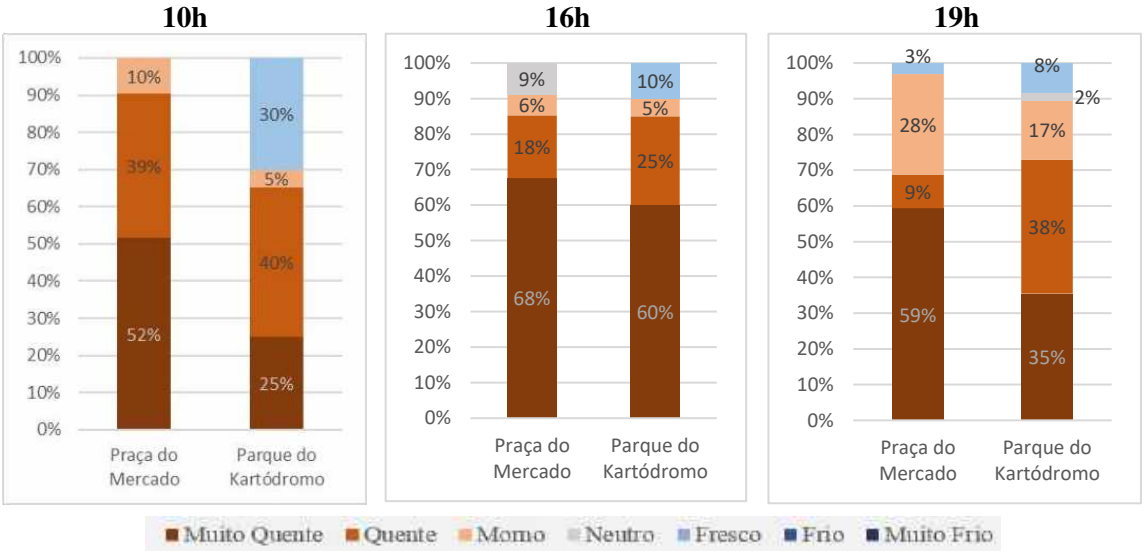


Figura 5 – Percepção Térmica
Fonte: os autores

A percepção informada pelos usuários (figura 5) também apontou piores condições na Praça do Mercado, onde aproximadamente 90% dos usuários estiveram entre as sensações de quente e muito quente, enquanto no Parque esse número cai para 65% no período da manhã. No período da tarde o primeiro atingiu 86% e o segundo, 85%.

O resultado pode se justificar pela configuração urbana observada no Parque, onde os espaços mais abertos e edifícios de diferentes alturas podem facilitar a circulação de vento e maior refletância da radiação de ondas longas para a atmosfera, favorecendo o conforto térmico.

Analogamente ao apresentado pelo índice PET, a percepção térmica às 19h também mostrou maior desconforto por calor no Parque do Kartódromo, com 73% dos usuários declarando "Muito quente" ou "Quente", enquanto na Praça do Mercado essa percepção atingiu 68% dos usuários.

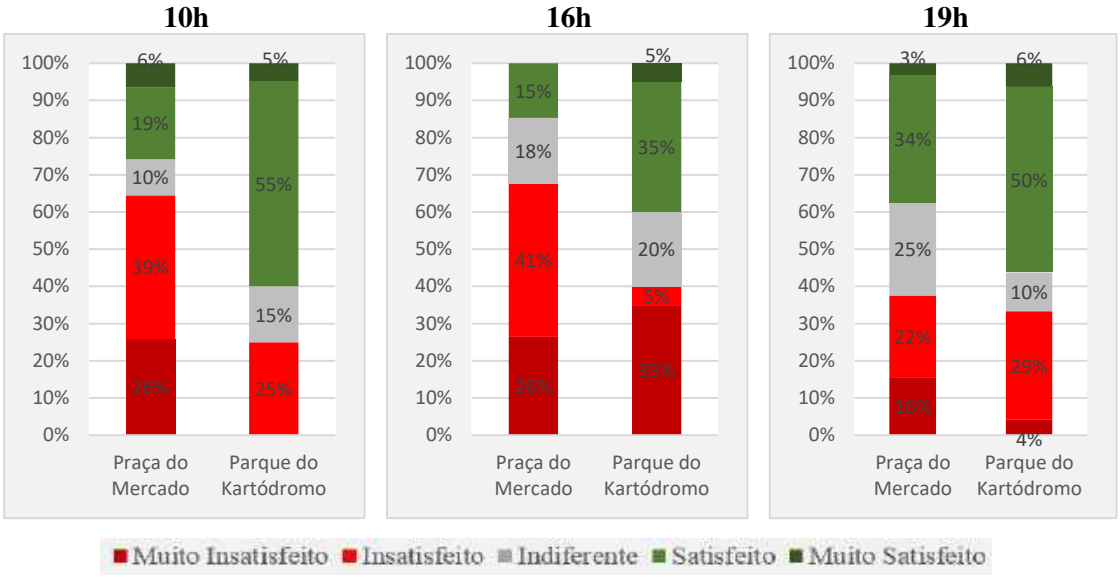


Figura 6 – Satisfação térmica
Fonte: os autores

No entanto, a satisfação (figura 6) relatada pelos usuários mostrou que nos três horários o ambiente térmico é mais satisfatório no Parque do Kartódromo, podendo ser justificado pela presença de parâmetros qualitativos, como a arborização, segundo o exposto por Brusantin e Fontes (2009). Somente no horário das 19h a satisfação aumenta na Praça do Mercado, embora ainda permaneça inferior ao outro ponto.

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho analisou a influência de diferentes configurações urbanas no conforto térmico de usuários em dois espaços abertos da cidade de São Carlos - SP. As áreas foram caracterizadas como ZCL 2 e ZCL 6_5, sendo a primeira composta por grande porcentagem de área construída e impermeável e a segunda com abundante vegetação. A geometria aponta para edifícios mais altos (maior relação H/W e altura média) na Praça do Mercado (ZCL 2). Enquanto o Parque do Kartódromo (ZCL 6_5) apresenta menor fator de visão do céu e, por tanto, menor obstrução.

Nos horários de 10h e 16h, a área mais vegetada (ZCL 6_5) apresentou melhores condições de conforto térmico, embora a percepção térmica indique desconforto por calor em ambos os pontos. Às 19h o índice PET teve uma maior variação no Parque do Kartódromo (ZCL 6_5), no entanto, os valores médios de ambos os pontos foram bastante semelhantes. Ainda assim, o nível de satisfação dos usuários foi maior no Parque do Kartódromo nos três horários, mesmo quando observado desconforto térmico.

Os resultados aqui encontrados corroboram com as demais pesquisas da área, ressaltando a importância de espaços arborizados, com grande quantidade de áreas vegetadas e sombreamento para o conforto térmico dos usuários em áreas urbanizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

BRUSANTIN, G. N.; FONTES, M. S. G. C. Conforto Térmico em Espaços Públicos de Permanência: uma experiência na cidade de Bauru-SP. In: ENCONTRO NACIONAL, 10.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., Natal, 2009. **Anais..**. Porto Alegre: ANTAC, 2009. p. 441-449.

GOOGLE, INC. Google Earth PRO. Versão 7.3.1.4507. 2017.

GOOGLE, INC. Google Maps. [São Carlos -SP]. 2017. Disponível em: <https://goo.gl/maps/nBzgYtrK1ozpuyjA7>

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.

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

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/>

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. et al. Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). **Procedia Environmental Sciences**, v. 1, p. 228–246, 2010.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos. v. 3, n. 2, p. 1–24, 2010.

OKE, T. R. Canyon Geometry and the Urban Heat Island. **Journal of Climatology**, v. 1, p. 237–254, 1981.

THORSSON, S. et al. Potential changes in outdoor thermal comfort conditions in Gothenburg, Sweden due to climate change: The influence of urban geometry. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 2, p. 324–335, 2011

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

SOUZA, L. C. L. 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.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida.