

Morfologia urbana e conforto térmico humano: Estudo em espaços abertos em São Carlos – SP

Maria Eugênia Fernandes
Universidade Federal de São Carlos – Brasil
fernandes.me88@gmail.com

Érico Masiero
Universidade Federal de São Carlos – Brasil
erico@ufscar.br

ABSTRACT

Climate change, generated in large part by human actions, has been a subject of growing concern in recent years, especially in the urban environment. Since 1988, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has been reporting the evolution of climate change, as well as the need for countries to take mitigation and adaptation measures to address the new global scenario. The main climatic problems present in the cities is the phenomenon known as Urban Heat Island (UHI), caused by the suppression of vegetation, the excessive waterproofing of the soil and the increase of the built areas, which causes the accumulation of heat in the urban centers and deterioration of the quality of life. This research arises from the need to investigate how the bioclimatic principles have been applied in the adaptation of the urban space, to provide more adequate indexes of thermal comfort to the users of urban areas. The objective of this work is to analyze the influence of two different configurations of the urban landscape in the thermal comfort of the users in the city of São Carlos-SP. For this, the areas were classified according to the parameters of the LCZs system. The satisfaction and comfort of the users with the thermal environment were determined, through structured interviews and the calculation of the PET index. In general, users reported a greater thermal comfort sensation in the LCZ 5, which presents the highest arboreal vegetation index, even in situations of high air temperature.

Keywords: *Outdoor Thermal Comfort; Urban Planning; Local Climate Zones; PET index.*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Mills et al. (2010) a urbanização é refletida em dois processos: mudanças nos padrões de vida e atividades dos seres humanos e a transformação física da cobertura natural em uma paisagem urbana, a qual resulta em diferentes formas urbanas em função da composição topográfica e de materiais. Ambos os processos ocorridos na cidade modificam a atmosfera subjacente, criando um clima diferente.

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. (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

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, as quais influenciam diretamente na alteração da temperatura das camadas intraurbana.

O planejamento urbano tem importância fundamental para o cenário das mudanças climáticas, 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. Dessa forma, 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.

Conforme mostra a **Figura 1**, é necessário que os planejadores do espaço físico sejam capazes de compreender fenômenos climáticos em escala local e aplicarem em configurações espaciais que atendam ao conforto térmico humano.

Figura 1 - Conforto térmico humano é consequência do planejamento físico territorial



Fonte: Autores (2018)

Embora existam diversos estudos na área de climatologia urbana, envolvendo pesquisas sobre o conforto térmico em espaços abertos (CHENG *et al.*, 2012; GIVONI *et al.*, 2003; KRUGER; TAMURA, 2015; NG; CHENG, 2012) é discutível a aplicação desses conceitos por parte dos planejadores urbanos, políticos e demais agentes, já que, segundo Mills *et al.* (2010) há grande dificuldade na transmissão de conceitos entre pesquisadores e a prática do planejamento do espaço urbano.

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. Desta forma, os Planos Diretores e demais instrumentos reguladores do ordenamento urbano no Brasil devem adotar medidas de mitigação e adaptação climática.

Portanto, essa pesquisa se justifica pela necessidade de se investigar como o planejamento físico territorial tem aplicado os princípios bioclimáticos na adaptação do ambiente para proporcionar índices mais adequados de conforto térmico aos usuários das áreas urbanas. Este artigo é parte de uma pesquisa que busca analisar o conforto térmico dos usuários de quatro espaços públicos abertos, na cidade de São Carlos, e relacioná-los com as medidas adotadas pelo planejamento urbano.

2. OBJETIVO

O objetivo dessa pesquisa está em relacionar a influência de duas diferentes configurações de espaços públicos abertos no conforto térmico dos usuários na cidade de São Carlos – SP

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Grande parte das pesquisas sobre conforto térmico aborda a avaliação dos espaços internos, sendo que 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.

Givoni et al. (2003), ao analisarem os métodos de pesquisas utilizados para ambientes abertos, afirma que o conforto térmico é um dos fatores que influenciam as pessoas a utilizarem determinados locais para realizar atividades e que as condicionantes do clima podem ser modificadas de acordo com detalhes nos desenhos dos espaços urbanos, tais como, elementos de sombreamento, aplicação de materiais e cores das superfícies.

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 a índices de conforto. A mesma pesquisa reforça a importância do estudo da sensação de conforto térmico para o planejamento climaticamente adequado de áreas urbanas. Johansson et al. (2014), analisaram 26 artigos publicados de 2001 a 2012 e concluíram que a maioria das pesquisas estudadas utilizou o índice PET como ferramenta de avaliação do conforto térmico. 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 PET pode fornecer informações sobre a percepção térmica e o nível de estresse térmico, podendo ser calculado um valor de temperatura PET específico para cada usuário ou um valor médio para um determinado grupo de pessoas. Segundo Monteiro e Alucci (2010) que calibraram diversos índices de conforto para espaços abertos em São Paulo, SP, os valores de referência para o índice PET varia entre $\leq 4^{\circ}\text{C}$ com uma percepção de ambiente muito frio a $> 43^{\circ}\text{C}$ como muito calor.

4. METODOLOGIA

O método está baseado em quatro etapas principais considerando os conceitos de climatologia urbana, de conforto térmico em espaços abertos e os princípios do planejamento urbano de São Carlos – SP.

As etapas podem ser apresentadas resumidamente como:

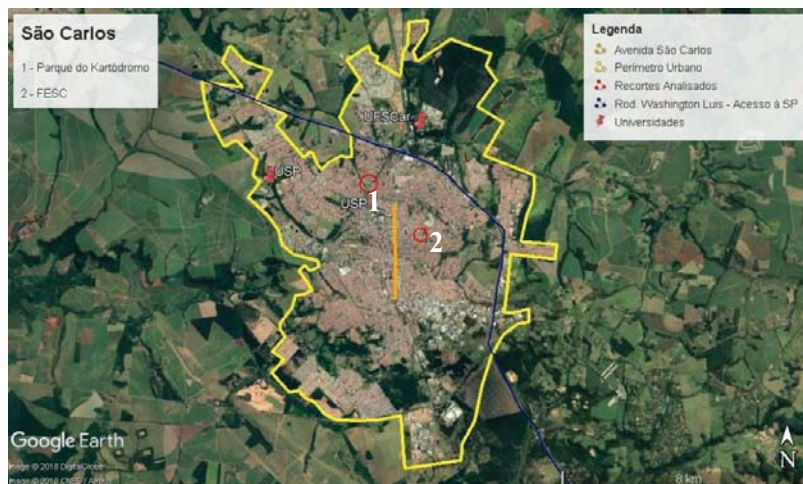
1. Classificação física de acordo com a proposta de Stewart & Oke (2012) em relação as *Local Climate Zones* a serem analisadas.
2. Coleta de dados microclimáticos com instalação de pontos fixos para medição de temperatura e umidade do ar e aplicação de entrevistas com usuários para avaliação subjetiva do conforto térmico humano simultaneamente.
3. Cálculo do índice de conforto térmico (PET).
4. Estabelecimento da relação entre informações referentes à morfologia urbana e o conforto térmico dos usuários entrevistados.

4.1 Definição das áreas urbanas

Esse trabalho analisou dois recortes urbanos da cidade de São Carlos - SP. A **Figura 2** mostra a

localização de cada um deles no tecido urbano.

Figura 2 – Posição dos recortes urbanos analisados na cidade de São Carlos



Fonte: Google Earth Versão 7.3.1.4507 (2018)

Figura 3 - Recortes analisados: a) Parque do Kartódromo e b) FESC



Fonte: Google Earth Versão 7.3.1.4507 (2018)

A **Figura 3** mostra os pontos analisados. O Parque do Kartódromo é resultado de uma revitalização realizada sobre a antiga pista de kart da cidade. O local sofreu diversas modificações, como substituição de piso, a inclusão de vegetação arbórea e rasteira, instalação de mobiliário urbano e melhoria na iluminação. Atualmente o Parque 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.

A Fundação Educacional de São Carlos – FESC - é um espaço de uso público, destinado a atividades educativas, esportivas e de lazer. O local também 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. Além disso, o espaço possui quadra poliesportiva, salas de aula, sala de atividades físicas, entre outras funções. A área gramada do antigo campo de futebol se transformou em uma generosa praça pública.

A classificação das Zonas Climáticas Locais, segundo Stewart & Oke (2012) considera indicadores como, fator de visão do céu (FVC), relação H/W, porcentagem de áreas construídas, permeáveis e impermeáveis. Para o cálculo do FVC foram obtidas fotos em diferentes pontos ao redor

dos pontos, com o auxílio de uma câmera fotográfica com lente olho de peixe. A foto foi, então, submetida ao *software RayMan* que realizou o cálculo. 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.

4.2 Coleta de dados microclimáticos, individuais e da sensação de conforto térmico

Para essa etapa foram instalados dois Sensores HOBO Pro V2 U23-001 em diferentes pontos do recorte. Os sensores, acoplados em escudos de PVC, registraram a temperatura do ar e umidade relativa do ar a cada hora no período de 24 de fevereiro à 19 de março de 2018.

Paralelamente foram realizadas campanhas de entrevistas com os usuários em ambos os pontos, visando obter informações pessoais (idade, peso, altura) e de conforto (sensação e satisfação térmica), baseado na Norma Internacional - ISO 10551 (1995). As coletas foram realizadas em três diferentes períodos, sendo eles: das 9h às 10h, das 15h às 16h e das 18h às 19h. Durante as entrevistas, também foram coletados a velocidade do vento com um Anemômetro Digital de Bolso LM-81AM e a temperatura de globo, utilizando um termômetro de globo feito a partir de um termo-anemômetro Kimo VT200, sendo que o sensor foi posicionado no interior de uma esfera com diâmetro D=40mm pintada de cinza (**Figura 4**).

Figura 4 - Instrumentos utilizados para medição de temperatura e velocidade do ar e temperatura de globo



Fonte: Autores (2018)

4.3 Cálculo do Índice PET

Após a coleta, os dados foram inseridos em planilhas do Excel® para análise e, posteriormente, o cálculo do índice de conforto térmico. O índice adotado para essa pesquisa foi o *Physiological Equivalent Temperature* (PET) (Höppe, 1999). Para isso, 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 (equação 1), de acordo com a ISO 7726/1988:

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6}}{\epsilon_g \cdot D^{0,4}} \cdot |t_g - t_a|^{1/4} \cdot (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (1)$$

Onde:

t_g = temperatura de globo



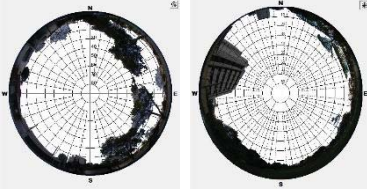
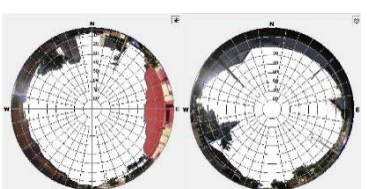

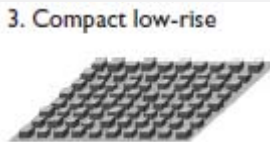
ϵ_g = emissividade do globo

t_a = temperatura do ar

5. RESULTADOS

5.1 LCZ – Caracterização Física dos Ambientes Urbanos

Tabela 1 – Caracterização Física dos Ambientes de Estudo

Parque do Kartódromo		FESC	
			
			
Fator de visão do céu (FVC)		Fator de visão do céu (FVC)	
0,65		0,60	
Relação H/W	0,6	Relação H/W	0,31
Superfície construída	51,86%	Superfície construída	57,34 %
Superfície impermeável	23,53%	Superfície impermeável	26,69 %
Superfície permeável	34,61%	Superfície permeável	15,98 %
Altura média	7m	Altura média	4,72m
Classe de rugosidade	5	Classe de rugosidade	7
<p>LCZ 5</p> <p>5. Open midrise</p> 		<p>LCZ 3</p> <p>3. Compact low-rise</p> 	

Fonte: Adaptado de Stewart & Oke (2011)

O Parque do Kartódromo foi classificado como LCZ 5, cuja definição de Stewart & Oke (2012) sugere “Abundância de cobertura permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Concreto, aço, pedra e materiais de construção de vidro”, com diferenciação para o gabarito das edificações, sendo estes edifícios médios de 3 a 9 pavimentos. A FESC, por sua vez, possui características da classificação

Compact low-rise, caracterizada como densa mistura de prédios baixos (1 a 3 andares), poucas ou nenhuma árvore, pavimentação materiais de construção em pedra, tijolo, telha e concreto.

5.2 Sensação de conforto térmico e Satisfação dos usuários

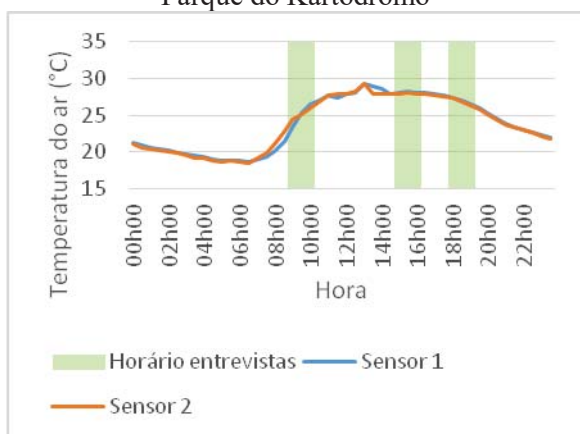
Foram realizadas 70 entrevistas, sendo 25 no Ponto 1 (Parque do Kartódromo) e 45 no Ponto 2 (FESC). As datas das entrevistas e quantidade realizada em cada horário estão detalhadas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Entrevistas realizadas

Ponto	Data	Hora de coleta	Número de entrevistas
Parque do Kartódromo	24/02/2018	9h-10h	10
	24/02/2018	15h-16h	12
	24/02/2018	18h-19h	3
Fundação Educacional de São Carlos (FESC – Campo do Rui)	14/03/2018	9h-10h	11
	14/03/2018	15h-16h	11
	14/03/2018	18h-19h	23

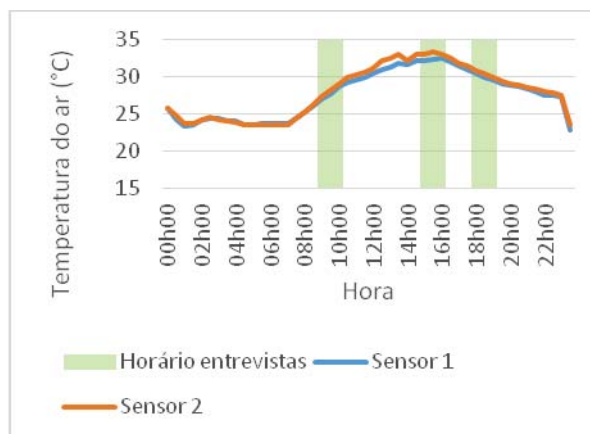
As figuras a seguir mostram a variação da temperatura do ar registrada nos sensores durante os dias de entrevistas. No Parque do Kartódromo (**Figura 5**), a temperatura do ar variou de 22 °C a 28 °C, aproximadamente, durante as entrevistas e, de 18,5 °C a 29,3 °C durante o dia todo. Enquanto na FESC (**Figura 6**), a temperatura variou de 26,4 °C a 33,3 °C, aproximadamente, durante as entrevistas, sendo que a temperatura mais alta registrada no dia ocorreu no intervalo entre 15h-16h (33,3 °C).

Figura 5 - Variação da temperatura do ar no Parque do Kartódromo



Fonte: os autores (2018)

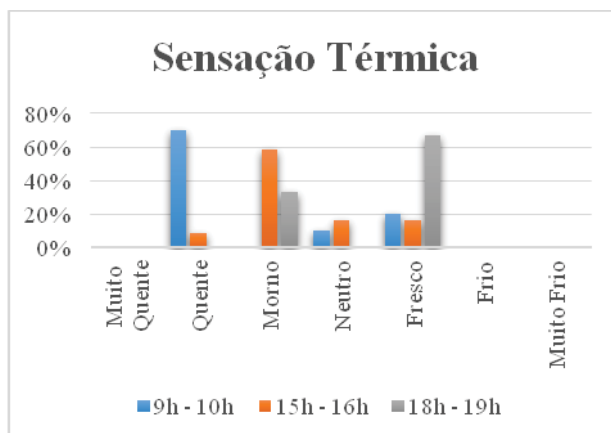
Figura 6 - Variação da temperatura do ar na FESC



Fonte: os autores (2018)

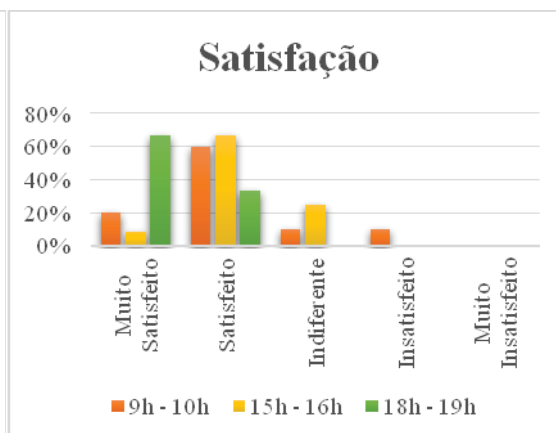
As figuras abaixo (**Figuras 7 e 8**) apresentam o gráfico da distribuição da sensação térmica e a da satisfação dos usuários com o ambiente térmico no dia 24 de fevereiro de 2018 – realizada no Parque do Kartódromo.

Figura 7 – Sensação de conforto dos usuários para o dia 24 de fevereiro de 2018



Fonte: os autores (2018)

Figura 8 – Satisfação dos usuários para o dia 24 de fevereiro de 2018

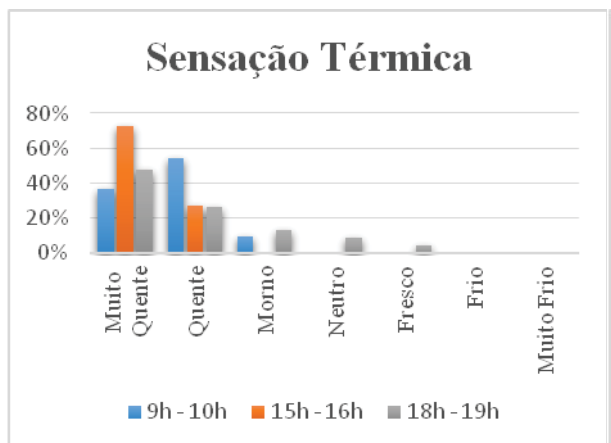


Fonte: os autores (2018)

Observa-se que a sensação para a grande maioria dos usuários no intervalo de 9h-10h foi “Quente” (70%), para o intervalo das 15h-16h foi “Morno” (58%) e “Fresco” (67%) para às 18h-19h.

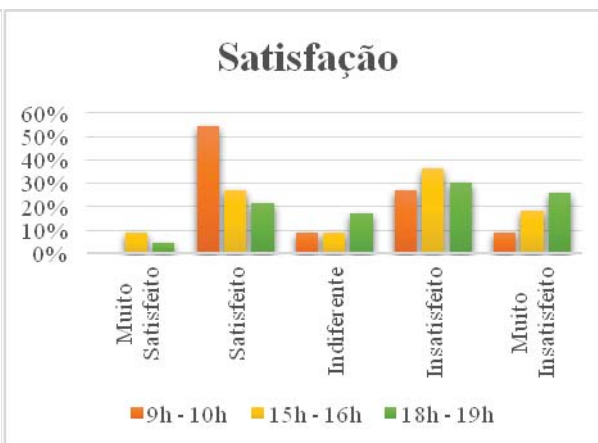
Quanto à satisfação, somente no período das 18h-19 (resfriamento) os usuários relataram se sentir muito satisfeitos, no entanto, a satisfação se manteve elevada nos outros dois períodos, ainda que as pessoas demonstrassem calor. Esse fato pode ser motivado pelos qualificadores do ambiente, tais como vegetação e arborização presentes.

Figura 9 - Sensação de conforto dos usuários para o dia 14 de março de 2018



Fonte: os autores (2018)

Figura 10 - Satisfação dos usuários para o dia 14 de março de 2018



Fonte: os autores (2018)

As entrevistas na FESC mostraram que 55% dos usuários responderam “Quente” para a sensação térmica no período da manhã e “Muito Quente”, tanto para o período da tarde (15h-16h), quanto para o período de 18h-19h, onde se esperava resfriamento (**Figura 9**).

Os usuários se mostraram bastante satisfeitos (55%) com a temperatura no período da manhã, mesmo que a sensação térmica apontasse para desconforto por calor (**Figura 10**). No entanto, a maioria dos usuários se declarou insatisfeito com o ambiente térmico nos períodos seguintes (15h-16h e 18h-19h), condizendo com a sensação térmica. Novamente se observa que a presença de elementos

de sombreamento pode influenciar a satisfação dos usuários, que, mesmo relatando a sensação de calor, se mostram satisfeitos com o ambiente.

É importante notar que, embora o local onde foram realizadas as entrevistas possua vegetação, alguma arborização e sombras, o entorno imediato é bastante impermeável, com alta porcentagem de área construída, conforme observado pela classificação da LCZ.

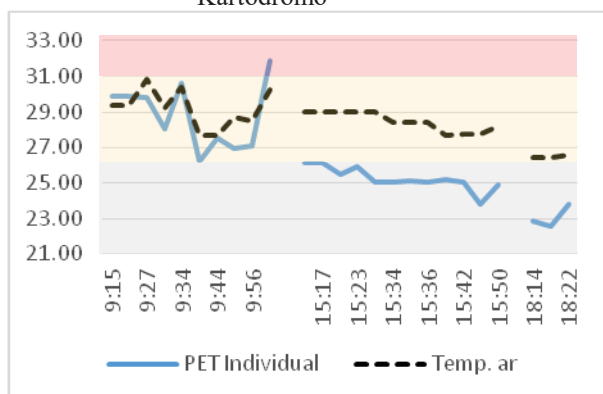
Observa-se que, quando comparados aos resultados encontrados no Parque do Kartódromo, a sensação térmica relatada pelos usuários da FESC se aproxima mais do desconforto por calor, gerando maior insatisfação nos usuários, corroborando com a diferença de temperatura observada (**Figura 5** e **Figura 6**).

5.3 Índice PET

A seguir serão apresentados os valores de PET calculados para os três períodos analisados (9h-10h, 15h-16h, 18h-19h), em cada um dos pontos.

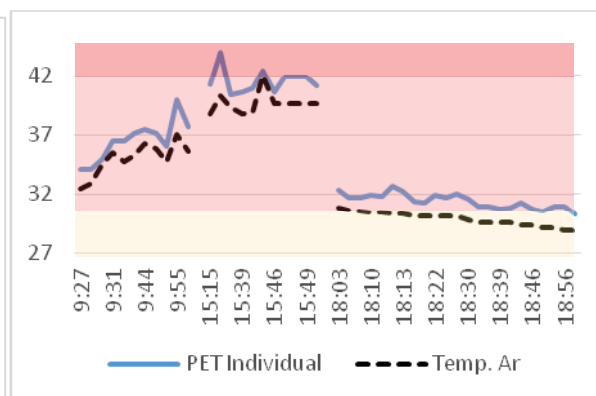
Os gráficos apresentam o valor do índice PET calculado para cada indivíduo e as faixas de conforto foram analisadas de acordo com a calibração proposta por Monteiro e Alucci (2010).

Figura 11 - Variação do índice PET no Parque do Kartódromo



Fonte: os autores (2018)

Figura 12 - Variação do índice PET na FESC



Fonte: os autores (2018)

O índice PET variou de 22,6°C (18h) a 31,9 °C (9h) no Parque do Kartódromo (**Figura 11**), enquanto na FESC (**Figura 12**) a variação atingiu maiores valores, de 30,3 °C (18h) a 44°C (15h), provavelmente influenciado pelo aumento de temperatura.

Observa-se que no Parque do Kartódromo, para o período das 9h-10h, o PET encontra-se na faixa de pouco calor, enquanto nos períodos seguintes atinge a neutralidade térmica. Por outro lado, na FESC, somente uma pequena parte encontra-se na faixa de pouco calor - quando do resfriamento, a grande maioria situa-se na faixa de calor, chegando a “Muito Calor”, no período das 15h.

6. Conclusão

Os usuários se mostraram mais satisfeitos no espaço onde havia mais vegetação (LCZ 5), mesmo quando a sensação relatada foi “Quente”. Observou-se ainda que nesse ambiente, a sensação térmica predominante durante o período de resfriamento (18h-19h) foi “Fresco”, enquanto no ambiente com menos vegetação a sensação no mesmo período manteve-se “Muito Quente”.

Nos pontos analisados nessa pesquisa as faixas de interpretações para o índice PET variaram de neutro (Parque do Kartódromo) a muito calor (FESC), de acordo com a calibração proposta por Monteiro e Alucci (2010) para São Paulo. Os maiores índices atingidos foram no horário das 15h-16h, chegando a 44°C, na FESC.

Nota-se que o ambiente com maior porcentagem de área permeável e menos área construída (LCZ 5) apresentou melhores condições de conforto térmico e satisfação para os usuários, salientando a importância do planejamento físico territorial na promoção de espaços com qualidade térmica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por seu apoio neste trabalho, através da concessão de bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BARBIRATO, G. M. ; SOUZA, L. C. L. ; TORRES, S. C. Cidade e clima: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió : EDUFAL, 2007. 164 p.
- 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.
- GIVONI, B. et al. Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, v. 35, n. 1, p. 77–86, 2003.
- GOOGLE EARTH Pro. Versão 7.3.1.4507, 2018.
- HOPPE, 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.
- JOHANSSON, E. et al. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies - The need for standardization. *Urban Climate*, v. 10, n. 2, p. 346–366, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2013.12.002>>. Acesso em: 21 mar 2017.
- KRÜGER, E. L. et al. Outdoor comfort study in a region with temperate climate: the case of Glasgow, UK. *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.
- MILLS, G. et al. Climate information for improved planning and management of mega cities (Needs Perspective). *Procedia Environmental Sciences*, v. 1, n. 1, p. 228–246, 2010.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos. *Fórum Patrimônio : Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável*, v. 3, p. 1-26, 2010.
- NG, E.; CHENG, V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 51–65, 2012.
- OKE, T. R. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island : Comparison of Scale Model. *Journal of Climatology*, v. 1, p. 237–254, 1981.