

SILVA ET AL. (2017)



Avaliação dos índices PET e UTCI em espaços públicos centrais, Palmas, Tocantins

Liliane Flávia Guimarães da Silva ⁽¹⁾,
Jessica Viana Ferreira ⁽²⁾ e
Marília Reis Nunes da Silva ⁽³⁾

Artigo publicado em outubro/2017

Resumo – Este artigo é fruto de dois projetos de iniciação científica do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Tem como objetivo avaliar a aplicação de dois índices de conforto térmico, PET e UTCI, em espaços urbanos externos na cidade de Palmas–TO. A escolha do tema deve-se à carência de pesquisas com conforto térmico em áreas externas na cidade, bem como devido à impossibilidade de controle artificial desses espaços. A estação seca é o período foco da pesquisa, tendo em vista que é a estação de maiores temperaturas do ano, nos meses de agosto e setembro. A pesquisa buscou determinar a eficiência dos índices de conforto térmico selecionados com as respostas das pessoas, utilizando proposta comparativa de recentes estudos brasileiros. Percebeu-se que o índice UTCI tem maior aproximação da sensação térmica real dos entrevistados, apesar de, da mesma forma que o PET, superestimar a percepção de conforto. O presente estudo abre mais uma possibilidade na caracterização do conforto térmico, contribuindo para futuras pesquisas sobre o tema em climas semelhantes. Sugere-se a continuidade dos estudos destes índices com a sua respectiva calibração para a região em estudo.

Termos para indexação: conforto térmico, espaços abertos, índices de conforto térmico

Assessment of indices PET and UTCI in central public spaces, Palmas, Tocantins

Abstract – This paper is the result of two scientific initiation projects of Civil Engineering Course at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. It has as its objective to evaluate the application of two thermal comfort indices, PET and UTCI, in outdoor urban spaces in Palmas–TO. The choice of topic is due to the lack of research on thermal comfort in outdoor areas in this city. Also, its due to the impossibility of artificial control of these spaces. The dry season is the focus of this research, considering that is the season with higher values of temperature, in months August and September. The research quested to determine the application efficiency of the selected thermal comfort indexes with responses of the inhabitants, using comparative proposal of recent brazilian researches. It is perceived that the UTCI index is nearer the real thermal sensation of respondents, though, it overestimates the perception of comfort just as the PET. This study gives one more possibility for the characterization of thermal comfort, contributing to future research on the subject in similar climates. It is suggested continuing studies of these indices with calibration of them for the region studied.

Index terms: thermal comfort, open spaces, thermal comfort indices

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente da UFT, Professora do Curso de Engenharia Civil do IFTO, Campus Palmas, Coordenação da Área de Construção Civil, AE 310 Sul, Av. LO-05, s/n, Palmas, TO, *lilianeg@ifto.edu.br

² Graduanda do Bacharelado em Engenharia Civil do IFTO, Campus Palmas, Coordenação da Área de Construção Civil, AE 310 Sul, Av. LO-05, s/n, Palmas, TO, *jessicavianaf@hotmail.com

³ Graduanda do Bacharelado em Engenharia Civil do IFTO, Campus Palmas, Coordenação da Área de Construção Civil, AE 310 Sul, Av. LO-05, s/n, Palmas, TO, *mariliarnsilva@hotmail.com

Introdução

O tema da presente pesquisa tem foco no conforto térmico em espaços abertos primeiramente, porque nestes espaços evidenciam-se as características naturais do clima local, sendo dificultado o controle artificial dos mesmos, bem como devido à relevância do conforto térmico como um dos meios para a percepção do clima.

A literatura específica da área apresenta uma vasta gama de estudos com índices de conforto térmico para mensuração e avaliação da resposta térmica das pessoas (EPSTEIN; MORAN, 2006; CARLUCCI; PAGLIANO, 2012; LABAKI *et al.*, 2012; ZHOU *et al.*, 2013; DE FREITAS; GRIGORIEVA, 2015). Epstein e Moran (2006) listam 40 índices existentes, Carlucci e Pagliano (2012) descrevem mais de setenta índices de conforto térmico, e De Freitas e Grigorieva (2015) citam a existência de mais de 160 índices.

Nessa pesquisa, são selecionados o *Physiological Equivalent Temperature* (PET) e o *Universal Thermal Climate Index* (UTCI). O PET baseia-se no *Munich Energy-balance Model for Individuals* (MEMI), que modela as condições térmicas do corpo humano fisiologicamente. O PET é definido como a temperatura do ar (interna ou externa) em que o balanço térmico do corpo humano é equilibrado com as mesmas temperaturas central e da pele, em um ambiente interno de referência em relação às condições externas a serem avaliadas, classificado em níveis de estresse fisiológico, variando de “calor extremo” a “frio extremo” (GÓMEZ *et al.*, 2013). O UTCI, inicialmente desenvolvido pela *International Society of Biometeorology* - ISB, resulta em uma temperatura equivalente a um ambiente de referência, sendo válido para todo o intervalo de trocas de calor entre o corpo e o ambiente, podendo também ser classificado em categorias de estresse térmico por faixas da temperatura resultante, variando de “estresse por frio extremo” a “estresse por calor extremo” (BRÖDE *et al.*, 2012). Segundo Rossi (2012), o PET é um dos índices mais utilizados para analisar o conforto térmico no Brasil, enquanto o UTCI é o mais recente modelo desenvolvido e desenvolvido para áreas externas, no intuito de ser aplicável a todos os tipos de clima.

O objetivo desta pesquisa é avaliar a aplicação dos índices de conforto térmico PET e UTCI na Avenida Juscelino Kubitschek (JK) e na Praça dos Girassóis na cidade de Palmas, capital do Tocantins, justificado principalmente pela carência de pesquisas com o tema na

cidade. O período de análise selecionado é a estação seca, pois segundo Normal Climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Ramos *et al.*, 2009), é o período que apresenta as maiores temperaturas registradas no ano, sendo mais significativos os meses de agosto e setembro.

Material e Métodos

Nesta pesquisa, a metodologia está dividida em quatro etapas principais:

1. Pesquisa bibliográfica;
2. Levantamento de campo dos dados físicos (temperatura, radiação, umidade e velocidade do ar) através de instrumentos;
3. Levantamento de campo dos dados fisiológicos (simultaneamente aos dados físicos), a partir de formulários sobre gênero, idade, peso, altura, do tipo de vestimenta e atividade desenvolvida, e sobre as respostas térmicas dos entrevistados;
4. Análise dos dados com: caracterização das respostas dos entrevistados; avaliação dos espaços por meio dos índices de conforto selecionados; estudo da relação de cada índice de conforto às respostas dos entrevistados, utilizando proposta comparativa de Rossi (2012) e coeficiente de correlação de Pearson.

Para compreensão das respostas térmicas dos entrevistados, considera-se nas entrevistas fatores como a percepção térmica da população entrevistada, a avaliação de conforto e preferência térmica. Tais variáveis são descritas nas recomendações da ISO 10551 (1995). De acordo com esta norma, estas três escalas devem ser aplicadas na seguinte ordem: escala de percepção, escala de avaliação e escala de preferência. A percepção térmica foi avaliada em uma estrutura de sete pontos, demonstrada na TABELA 1. A avaliação de conforto utilizou uma estrutura de escala binária, “confortável” e “desconfortável”, e a preferência térmica foi avaliada em uma estrutura de três escalas: “mais resfriado”, “sem mudanças” e “mais aquecido”, ambas adaptadas da ISO 10551 (1995).

Para análise dos resultados de avaliação térmica (conforto/desconforto), Rossi (2012) propõe classificação a partir do cruzamento das respostas de percepção térmica e de

Revista Sítio Novo – Vol. 1 – Ano 2017 – ISSN 2594-7036

preferência térmica, conforme modelo na TABELA 2. A coluna e a linha central da TABELA 2, em cinza escuro, correspondem aos votos de conforto, a parte inferior esquerda, em cinza claro, representa os votos de desconforto para o frio e a parte superior direita, também em cinza claro, representa o desconforto para o calor. A proposta de Rossi (2012) tem o objetivo de obter dados mais significativos da população que as respostas diretas de conforto/desconforto.

A proposta de Rossi (2012) permite avaliar os votos de conforto/desconforto para comparação com faixas pré-estabelecidas pelos índices. Há ainda a possibilidade de realizar a comparação dos valores dos índices com a percepção térmica das pessoas. Para tal análise, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, que mede o grau da correlação e a direção dessa correlação, se positiva ou negativa, entre duas variáveis de escala métrica. Esta correlação é tanto mais forte quanto mais próximo de 1 (um), no caso de correlação positiva. Para coeficientes acima de 0,9, considera-se correlação muito forte; entre 0,7 e 0,9 correlação forte; para coeficiente entre 0,5 e 0,7 tem-se uma correlação moderada; entre 0,3 e 0,5 há uma correlação fraca; e abaixo de 0,3 possui correlação desprezível.

Além das variáveis acima, os transeuntes foram indagados quanto às áreas externas consideradas mais confortáveis e mais desconfortáveis nos locais da pesquisa, e quanto à reação dos mesmos em caso de desconforto térmico, com questões de múltipla escolha, determinadas a partir de observação preliminar das pesquisadoras. Neste caso, os transeuntes poderiam escolher mais de uma opção no formulário. Para as áreas consideradas mais confortáveis e mais desconfortáveis, as opções foram: calçada, rua, refúgio central, sob as marquises, sob as árvores, estacionamento, outro. Para as reações ao desconforto, as opções foram: procura uma sombra, usa roupas mais leves, usa chapéu/ guarda-sol, muda de lugar, vai embora, não faz nada, bebe líquidos, outro.

Caracterização dos espaços pesquisados

Dentre os espaços públicos centrais na cidade de Palmas, TO, foram selecionados a Praça dos Girassóis e a Avenida Juscelino Kubitschek (JK). A FIGURA 1 apresenta a localização dos espaços selecionados para monitoramento.

A praça é cartão postal de Palmas, TO, espaço cívico destinado a ser o centro do desenho urbano da cidade, com grandes áreas pavimentadas que incluem o Marco do Centro Geodésico do Brasil, ao centro no ponto mais alto o Palácio Araguaia (sede do Poder Estadual), as Secretarias Estaduais distribuídas no perímetro Leste e Oeste, e demais órgãos e monumentos ao Norte e Sul do Palácio. As Secretarias Estaduais, onde foram instalados os equipamentos, possuem dois andares, marquises nas entradas de acesso, estacionamentos próprios divididos por canteiro central, e vegetação esparsa nas calçadas, conforme apresentado na FIGURA 2.

A Avenida JK é um dos ambientes de grande movimentação pelo comércio com configuração arquitetônica de muitas áreas comerciais da cidade, resultado da sua legislação urbana. A avenida possui sombras nas entradas das lojas comerciais proporcionadas por balanços nas edificações, estacionamentos próprios, vias com três faixas de rolamento cada, divididas por canteiro central com Palmeiras, e vegetação esparsa nas calçadas, conforme perfil apresentado na FIGURA 3.

Levantamento de dados in loco e obtenção dos índices

Foram levantados dados de 10 dias, não consecutivos durante os meses de agosto e setembro de 2014, sendo cinco dias em cada área de estudo selecionada, tendo em vista a disponibilidade de apenas um conjunto dos equipamentos. Na avenida JK, foram coletados dados nos dias 15/08/2014, 22/08/2014, 29/08/2014, 05/09/2014, 17/09/2014 e na Praça dos Girassóis nos dias 18/08/2014, 25/08/2014, 01/09/2014, 12/09/2014, 19/09/2014.

Os instrumentos utilizados foram uma estação meteorológica portátil, marca Nexus, modelo TFA 35.1075, e um termômetro de globo negro (15 cm de diâmetro, com emissividade 0,95), marca Instrutherm, IBUTG, modelo TG-200, ambos patrimônios do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), *Campus* Palmas. A ISO 7726 (1998) descreve que, teoricamente, o globo pode ter qualquer diâmetro, mas é geralmente recomendado um diâmetro de 15 cm. O conjunto foi instalado em um tripé a 1,50m de altura do piso, no espaço das calçadas, expostos às mesmas condições climáticas dos transeuntes (exposto ao sol, ver FIGURAS 2 e 3). A estação forneceu dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. O termômetro de globo

forneceu a temperatura de globo, que, juntamente à temperatura do ar e velocidade do ar na mesma altura do globo, é utilizada para cálculo da temperatura média radiante, a partir das orientações da ISO 7726 (1998), para convecção natural (Equação 1) e convecção forçada (Equação 2). Foram coletados dados *in loco* entre 8h e 12h no período matutino e entre 14h e 18h no período vespertino, anotados em caderneta própria a cada hora.

Para as entrevistas com os transeuntes, a determinação da amostra seguiu recomendações de Fonseca e Martins (2010), para variáveis qualitativas, com nível de confiança de 95,5% e erro amostral admitido de 5%, obtendo o maior tamanho da amostra de 400 pessoas. Foram aplicados 400 formulários em cada local selecionado, totalizando 800 formulários, sendo aplicados 10 formulários por hora para uma distribuição homogênea nos horários e dias da coleta.

O índice PET foi calculado a partir das variáveis temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade do ar (GÓMEZ *et al.*, 2013). O índice UTCI foi obtido por meio dos dados: temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa, estes próximos ao solo, na altura do equipamento, e velocidade do ar a 10m de altura. Para obter a velocidade do ar a 10m de altura, tendo em vista que o monitoramento da variável ‘vento’ foi realizado na mesma altura do termômetro de globo, utilizou-se o procedimento recomendado por Bröde *et al.* (2012), aplicando um fator de escala para a determinação dessa variável (Equação 3).

Para o cálculo dos índices PET e UTCI há diversos *softwares* e *sites* desenvolvidos por diversos pesquisadores no mundo. Na presente pesquisa, foi realizado o cálculo pelo *software RayMan Pro* (MATZARAKIS, 2007;2010), por calcular tanto o PET quanto o UTCI, apenas com a entrada das variáveis citadas no parágrafo anterior. O único dado de entrada diferente entre os dois índices foi a variável ventilação.

Resultados e Discussão

As seções seguintes apresentam os dados físicos coletados e calculados (temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade do ar, velocidade do ar), fisiológicos (gênero, idade, peso, altura, vestimenta e atividade), e respostas térmicas dos entrevistados (sensação,

avaliação e preferência térmicas, voto de área mais confortável, mais desconfortável e reação ao desconforto), os índices calculados e posterior análise.

Variáveis climáticas levantadas in loco

A temperatura do ar mínima registrada nos dois locais de estudo foi de 29,1°C na Avenida JK e a máxima de 43,7°C, no mesmo local. Durante o período estudado, as máximas foram registradas entre as 15h e 16h e as mínimas nas primeiras horas do dia (FIGURAS 4 e 5).

A temperatura de globo acompanhou de forma semelhante ao registrado na temperatura do ar, obtendo os valores máximos entre as 14h e 16h e as mínimas nas primeiras horas do dia, com pouca variação entre os dias levantados, conforme pode ver visto nas FIGURAS 6 e 7, com mínima registrada de 27,9°C e a máxima de 53,7°C, ambas na Avenida JK.

A umidade relativa do ar acompanhou de forma inversa o registrado na temperatura do ar (FIGURAS 8 e 9). A máxima registrada nos dois locais de estudo foi de 63% e a mínima de 21%, ambas na avenida JK, sendo as máximas nas primeiras horas do dia e as mínimas entre as 14h e as 16h.

A velocidade do ar (FIGURAS 10 e 11) foi muito variável, tanto na Avenida JK quanto na Praça dos Girassóis. Não ultrapassou 2,36 m/s sendo muitas vezes nula nos espaços estudados, no entanto, apresentou maiores valores durante o decorrer do dia na Praça dos Girassóis. A Avenida JK teve valores mais baixos geralmente no período vespertino, entre 14h e 16h, período em que houve aumento da temperatura do ar.

Variáveis fisiológicas levantadas

Por meio das respostas obtidas nos formulários, pode-se levantar os dados fisiológicos da população entrevistada, que estão dispostas nos gráficos das FIGURAS 12 a 15, contendo as seguintes informações: gênero, idade, peso, altura, metabolismo e vestimenta.

A amostra compreendeu uma população em sua maioria do sexo masculino, correspondendo a 61,4%, e 38% do sexo feminino, sendo que 0,6% não declararam o gênero (FIGURA 12). Dentre a grande variedade de faixa etária, entre 9 e 78 anos, predominou uma

população jovem, com 73,1% abrangendo a faixa 20 à 50 anos de idade, conforme FIGURA 13, sendo 42,0% de 20 a 35 anos. Apenas 8,9% corresponde à faixa entre 9 e 20 anos, e 18% correspondem às faixas acima de 50 anos.

As variáveis peso e altura são proporcionais à idade da população entrevistada. Para o peso, o intervalo de 65 a 80Kg corresponde à maior parcela dos entrevistados, 37,1%, seguidos de 33,4% que compreende a faixa de 50 a 65Kg, e 18,4% entre 80 e 95Kg (FIGURA 14). No total acumulado, quase 90% dos entrevistados pesavam entre 50 e 95 Kg (88,9%). Menores parcelas correspondem às faixas com menos de 50Kg (5,4%) e entre 95 e 110 Kg (5,1%). Apenas 0,6% pesavam entre 110 e 120Kg, ou seja, uma parcela muito reduzida. Quanto à altura, a maior parte dos entrevistados, com uma porcentagem de 38,6%, corresponde ao intervalo de 1,65 à 1,75m, seguido de 28,5% dos entrevistados, entre 1,55 e 1,65m, e 19,5% entre 1,75 e 1,85m (FIGURA 15). Essas três faixas somam mais de 80% dos entrevistados (86,6%). Entre 1,45m e 1,55m a amostra apresentou 9,9%, e apenas 3,1% acima de 1,85m. Mais reduzida foi a faixa abaixo de 1,45m, apenas 0,4%.

O isolamento das roupas é medido em clo ($1\text{clo} = 0,155\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$), enquanto o metabolismo é medido em MET ($1\text{ MET} = 58,2\text{ W}/\text{m}^2 = 50\text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$). A média do metabolismo foi de 1,9 MET e a média do isolamento das roupas foi de 0,49 clo.

Respostas térmicas dos entrevistados

As FIGURAS 16 a 18 apresentam as respostas de percepção, avaliação e preferência térmica dos entrevistados. Dentro da escala utilizada para a percepção térmica, a maior parte dos entrevistados alegou estar com “muito calor”, 45,3%, seguido de 20% com “calor”, e 14,9% com “pouco calor” (FIGURA 16). Quase 20% respondeu estar “neutro” (19,6% sem calor ou frio) e uma parcela mínima respondeu estar com “pouco frio” (0,3%).

O resultado da avaliação térmica dos transeuntes nos locais de estudo revela que grande parte dos entrevistados possui voto “desconfortável”, parcela essa que corresponde a 75,1% dos mesmos, enquanto apenas 24,6% sente-se “confortável” (FIGURA 17).

Em relação à preferência térmica, a grande maioria (84,4%) preferia estar “mais resfriado”, enquanto 15,1% não teve preferência por mudanças. Uma parcela mínima, 0,1%

preferia estar “mais aquecido”, e 0,4% dos entrevistados não opinaram (FIGURA 18).

Aplicando a proposta de Rossi (2012), as respostas dos formulários foram agrupadas em três categorias de sensação térmica, excetuando os formulários em que o entrevistado não respondeu a uma das perguntas sobre percepção e preferência térmica, totalizando 797 entrevistas válidas (TABELA 3).

A porção superior direita mostra o percentual de pessoas que estavam sentindo “calor” e preferiam estar em um ambiente “mais resfriado” (12,4%, 17,6% e 44,2%). A porção inferior esquerda mostra que não houve entrevistados que se sentiram com algum grau de “frio” e gostariam de estar em um ambiente térmico “mais aquecido”. A linha central, em cinza escuro, mostra a porcentagem de pessoas que mesmo sentindo algum grau de “frio” (0,1%) ou algum grau de “calor” (2,4%, 2,5% e 1,3%) preferiam continuar no mesmo tipo de ambiente térmico. A coluna central, em cinza escuro, mostra o percentual de respondentes que, apesar de preferirem estar mais resfriados ou mais aquecidos, apresentaram percepção térmica neutra.

Totalizando as frequências relativas segundo faixas de conforto, de desconforto para o calor e desconforto para o frio, tem-se os resultados na TABELA 4. O resultado mostra 74,2% das pessoas em “desconforto para o calor” e 25,7% em “conforto”. Nenhum entrevistado foi classificado com “desconforto para o frio” e 0,1% não se enquadra em nenhuma classificação proposta por Rossi (2012) (indivíduos que mesmo sentindo “pouco frio”, preferiam estar em ambiente “mais resfriado”).

Quanto às áreas externas mais confortáveis (FIGURA 19) e mais desconfortáveis (FIGURA 20) nos locais da pesquisa, a maioria dos respondentes alegou estar mais confortável na área “sob as árvores” e “sob as marquises”, ou seja, locais sombreados, enquanto as áreas da “rua”, do “estacionamento” e da “calçada”, locais pavimentados, foram os apontados como mais desconfortáveis. Em caso de desconforto térmico, a maior parte dos transeuntes alegou a reação “procura uma sombra”, seguido por reações em que o indivíduo “usa roupas mais leves”, “muda de lugar” ou “vai embora” (FIGURA 21).

Índices de conforto PET e UTCI

Os parâmetros foram inseridos no *software* indicado na metodologia, obtendo os resultados indicados nas FIGURAS 22 a 25. Para o índice PET (FIGURAS 22 e 23), na Avenida JK foram encontrados valores máximos às 15h nos dias 15 e 29 de agosto, e entre 11h e meio dia nos demais dias, ultrapassando os 55°C em alguns dias. Na Praça dos Girassóis, os valores máximos apresentaram-se de forma mais homogênea durante o dia, com valores máximos às 15h em praticamente todos os dias de levantamento. As mínimas foram registradas nas primeiras horas e no final do dia, em ambos os locais, chegando a 25°C na Avenida JK. O índice PET teve maior variação horária entre os dias pesquisados na Avenida JK que na Praça dos Girassóis.

Os resultados encontrados quanto ao índice UTCI na Avenida JK apresentaram valores máximos em horários diversos nos dias pesquisados, às 12h e entre 14h e 16h (FIGURA 24). O índice UTCI calculado na Praça dos Girassóis apresentou valores mais elevados às 15h em praticamente todos os dias de levantamento (FIGURA 25). Os valores encontrados na JK variaram mais durante os dias pesquisados que na Praça dos Girassóis. Na Praça dos Girassóis, o índice apresentou-se sempre superior a 30°C, enquanto na Avenida JK obteve mínima de 27,6°C, e raramente ultrapassou os 50°C em alguns horários em ambos os locais. O índice UTCI também teve maior variação horária entre os dias pesquisados na Avenida JK que na Praça dos Girassóis.

Análise da resposta térmica dos entrevistados com o PET e o UTCI calculados

Para comparar a resposta térmica real dos entrevistados com os índices, foram utilizadas as categorias de sensação térmica proposta por Rossi (2012) comparando-os ao PET e UTCI calculados e à resposta direta dos transeuntes. Segundo Gómez *et al.* (2013), as faixas de conforto PET são: desconforto para o frio $PET < 18^{\circ}\text{C}$; $18^{\circ}\text{C} \leq PET \leq 23^{\circ}\text{C}$; e desconforto para o calor $PET > 23^{\circ}\text{C}$; já o UTCI, segundo Bröde *et al.* (2012), possui as faixas: desconforto para o frio $UTCI < 18^{\circ}\text{C}$; conforto $18^{\circ}\text{C} \leq UTCI \leq 26^{\circ}\text{C}$ e desconforto para o calor $UTCI > 26^{\circ}\text{C}$.

Os resultados levantados diretamente com os entrevistados e as categorias calculadas pela proposta de Rossi (2012) constam na TABELA 5. Todos os valores de PET foram acima de 23°C e do UTCI acima de 26°C, o que resultou em 100% de desconforto para calor em

ambos os índices. Verifica-se, pois, que ambos os índices, PET e UTCI, superestimaram o desconforto térmico para o calor dos entrevistados, com 100% de indicação de desconforto para calor, contrastando com os 74,2% de resultados desconfortáveis nas categorias calculadas com as entrevistas.

Utilizou-se também de comparações complementares, utilizando outros recursos da análise estatística descritiva, por meio do coeficiente de correlação de Pearson, que mede o grau da correlação e a direção dessa correlação, se positiva ou negativa, entre duas variáveis de escala métrica. Como na resposta da percepção térmica dos respondentes foi utilizada uma escala numérica proposta na ISO 10551 (1995), foi possível aplicar o referido coeficiente correlacionando-o com cada um dos modelos, PET e UTCI, para cada localidade, resultando na TABELA 6.

Verifica-se que os índices PET e UTCI possuem correlação positiva, ou seja, a medida que aumenta a percepção térmica de calor dos respondentes, aumentam os índices de conforto térmico. Os índices apresentaram correlação não muito significativa entre as variáveis. O UTCI apresentou correlação fraca, pois foi inferior a 0,5; enquanto o PET apresentou correlação desprezível, abaixo de 0,3.

Conclusões

Em ambos os locais da pesquisa, notou-se que os índices apresentaram valores extremos, o que poderia representar o desconforto total das pessoas. No entanto, tal desconforto indicado nos índices contrastou com a resposta direta da população e com as respostas produzidas na proposta de Rossi (2012). Os transeuntes, em sua maioria, encontravam-se desconfortáveis no local pesquisado, mas em percentual muito inferior ao indicado pelos índices. Tanto o PET quanto o UTCI superaram a avaliação térmica de desconforto dos entrevistados, o que demonstra a sua inadequação para a amostra considerada nesta pesquisa. No entanto, percebeu-se que o índice UTCI tem maior aproximação da sensação térmica real dos entrevistados, apesar de, da mesma forma que o PET, superestimar a percepção de conforto.

Embora a maior parte da população entrevistada tenha apresentado voto desconfortável,

quase um quarto dos entrevistados encontrava-se confortável, se consideradas as condições climáticas interpretadas pelos índices. O percentual de quase 24,6% de respondentes confortáveis e 25,7% na categoria de sensação térmica de conforto de Rossi (2012), devem ser considerados na adequação dos dois índices.

A análise de correlação demonstrou que o UTCI, apesar de inadequado à realidade dos respondentes, possui correlação que não pode ser desprezada. Por este motivo, sugere-se a continuidade dos estudos deste índice com a sua respectiva calibração para a região em estudo. Sugere-se também maior investigação nesses espaços utilizando tais índices, considerando não só uma ampliação da amostra, como também uma ampliação dos pontos de coleta de dados físicos, possibilitando a comparação entre as diversas situações a que os transeuntes são expostos.

Deve-se levar em consideração o universo pesquisado e suas limitações, pois os resultados aqui apresentados são válidos para a amostra, e para as condições às quais os pontos de coleta de dados estavam expostos. O presente estudo avaliou a situação mais desfavorável para o transeunte, de exposição total ao sol, durante todo o dia. No entanto, os transeuntes estão em situações diversas, ao sol e à sombra, sob árvores, marquises, entre outras condições. A presente pesquisa abre uma possibilidade na caracterização dos índices de conforto térmico na cidade estudada, contribuindo para futuros estudos sobre o tema em climas semelhantes.

Agradecimentos

Ao IFTO pelas bolsas de pesquisa e recursos de custeio aplicados ao projeto.

Ao professor Carlos Eduardo da Silva Santos, pelo auxílio nos cálculos.

Referências

BRÖDE, P.; FIALA, D.; BŁAŻEJCZYK, K.; HOLMÉR, I.; JENDRITZKY, G.; KAMPMANN, B.; TINZ, B.; HAVENITH, G. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 481–494, maio 2012.

CARLUCCI, S.; PAGLIANO, L. A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. **Energy and Buildings**, v. 53, n. 1, p. 194-205, out. 2012.

DE FREITAS, C. R.; GRIGORIEVA, E. A. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 1, p. 109-120, jan. 2015.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. S. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial Health**, v. 44, n. 3, p. 388-398, 2006.

FONSECA, J. S. da; MARTINS, G. de A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GÓMEZ, F. A.; CUEVA, P.; VALCUENDE, M.; MATZARAKIS, A. Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET). **Ecological engineering**, v. 57, p.27-39, ago. 2013.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R. dos; FORTES, L. T. G. (Org.). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. ed. rev. e ampl. Brasília, INMET, 2009.

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

_____. **ISO 7726**: ergonomics of the thermal environments: Instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1998.

LABAKI, Lucila Chebel; FONTES, Maria Solange Gurgel de Castro; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo; DACANAL, Cristiane. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 167-183, jan./mar. 2012.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 4, p. 323-334, mar. 2007.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of**

SILVA ET AL. (2017)

Biometeorology, v. 54, n. 2, p. 131-139, mar. 2010.

ROSSI, Francine Aidie. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. 2012. 188 p. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ZHOU, Zeng; CHEN, Hong; DENG, Qinli; MOCHIDA, Akashi. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in a humid subtropical climate city. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 12, n. 1, p. 73-79, maio 2013.

TABELA 1
 Escala de percepção térmica

Polo A ←	Graus de intensidade			Neutro	Graus de intensidade			Polo B →
	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	
	Muito frio	Frio	Pouco frio	Neutro	Pouco Calor	Calor	Muito Calor	

Fonte: Adaptado de ISO 10551 (1995) (Tradução Nossa).

TABELA 2
 Categorias de sensação térmica

Percepção térmica/ Preferência Térmica	-3 Muito Frio	-2 Frio	-1 Pouco Frio	0 Neutro	+1 Pouco Calor	+2 Calor	+3 Muito Calor	TOTAL
Mais resfriado	X %	X %	X %	X %	X %	X %	X %	X %
Sem mudanças	X %	X %	X %	X %	X %	X %	X %	X %
Mais aquecido	X %	X %	X %	X %	X %	X %	X %	X %
TOTAL	X %	X %	X %	X %	X %	X %	X %	X %

Fonte: Adaptado de Rossi (2012).

TABELA 3
 Frequência relativa de categorias de sensação térmica

Percepção Térmica/ Preferência Térmica	-3 Muito Frio	-2 Frio	-1 Pouco Frio	0 Neutro	+1 Pouco Calor	+2 Calor	+3 Muito Calor	TOTAL
Mais resfriado	0,0%	0,0%	0,1%	10,4%	12,4%	17,6%	44,2%	84,7%
Sem mudanças	0,0%	0,0%	0,1%	8,9%	2,4%	2,5%	1,3%	15,2%
Mais aquecido	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
TOTAL	0,0%	0,0%	0,3%	19,4%	14,8%	20,1%	45,4%	100,0%

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

TABELA 4
 Totais por categorias de sensação térmica

Categorias de sensação térmica	
Desconforto para o Calor	74,2%
Conforto	25,7%
Desconforto para o Frio	0,0%
Não classificado	0,1%
Total	100,0%

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

TABELA 5
 Frequência relativa de avaliação térmica

Avaliação térmica	Categorias de sensação térmica classificadas de acordo com ROSSI (2012)	PET	UTCI
Desconforto para o Calor	74,2%	100,0%	100,0%
Conforto	25,7%	0,0%	0,0%
Desconforto para o Frio	0,0%	0,0%	0,0%
Dados Nulos	0,1%	0,0%	0,0%
Total	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

TABELA 6
 Coeficiente de correlação de Pearson entre a percepção térmica dos respondentes e os índices PET e UTCI

Índice	Coeficiente de correlação (Pearson) com a resposta de percepção térmica dos entrevistados
PET Avenida JK	0,2724679
PET Praça dos Girassóis	0,2494792
UTCI Avenida JK	0,3437938
UTCI Praça dos Girassóis	0,3473710

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).



FIGURA 1 – Localização da Praça dos Girassóis e da Avenida JK.

Fonte: Adaptado de Google Maps (2014).



FIGURA 2 – Foto e perfil esquemático da Praça dos Girassóis no ponto de coleta (setor entre as Secretarias).
Fonte: Elaborado pelas autoras (2014).

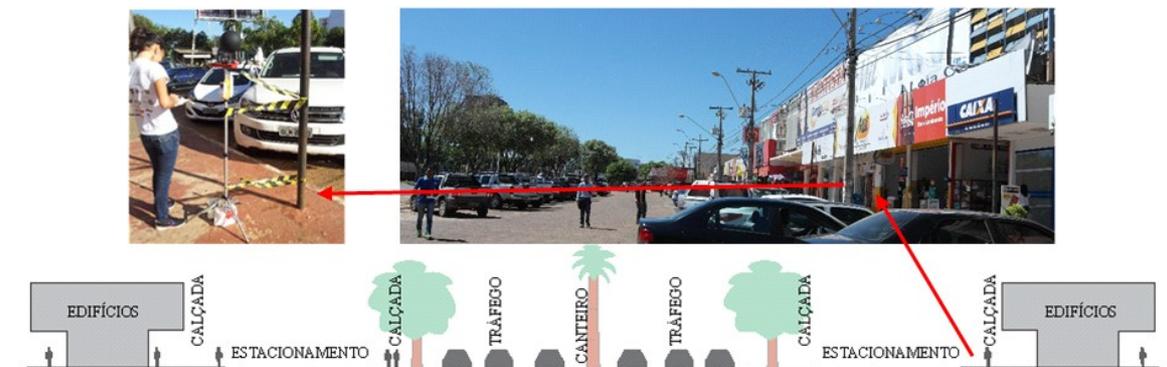


FIGURA 3 – Foto e perfil esquemático da Avenida Juscelino Kubitschek (JK) no ponto de coleta
Fonte: Elaborado pelas autoras (2014).

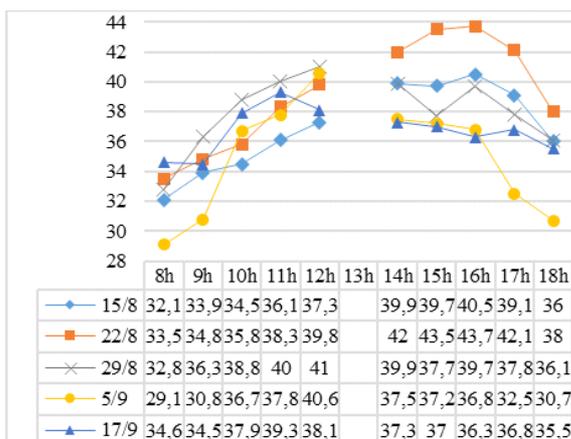


FIGURA 4 – Temperatura do ar na Avenida JK (°C).

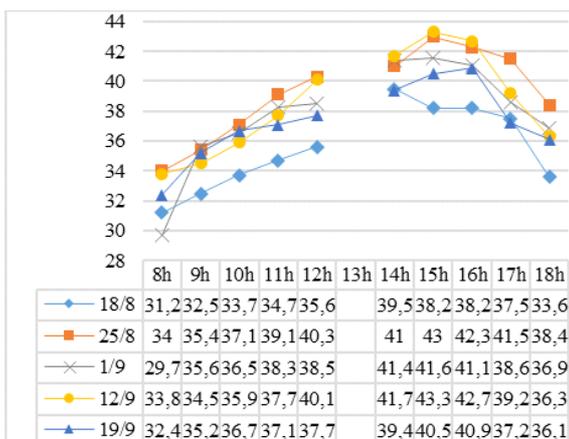


FIGURA 5 – Temperatura do ar na Praça dos Girassóis (°C).

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

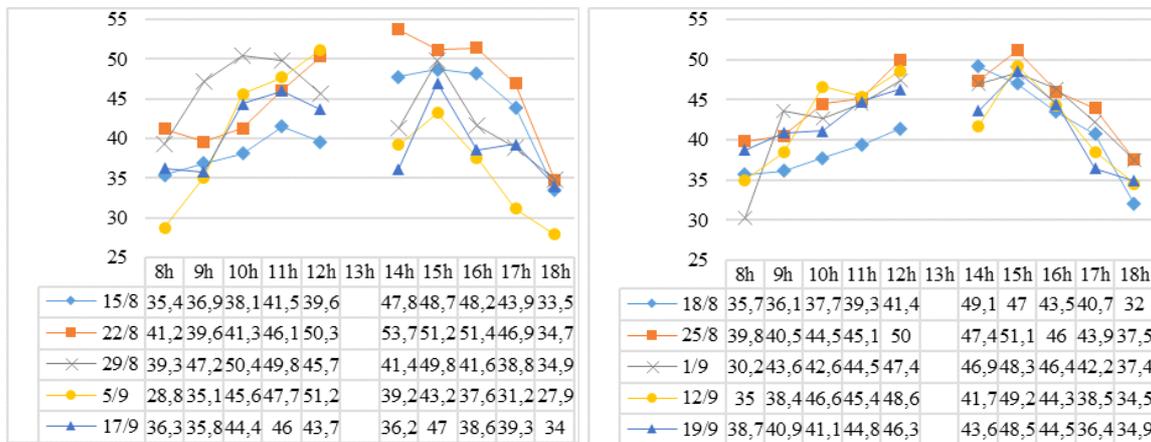


FIGURA 6 – Temperatura de globo na Avenida JK (°C). FIGURA 7 – Temperatura de globo na Praça dos Girassóis (°C).

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

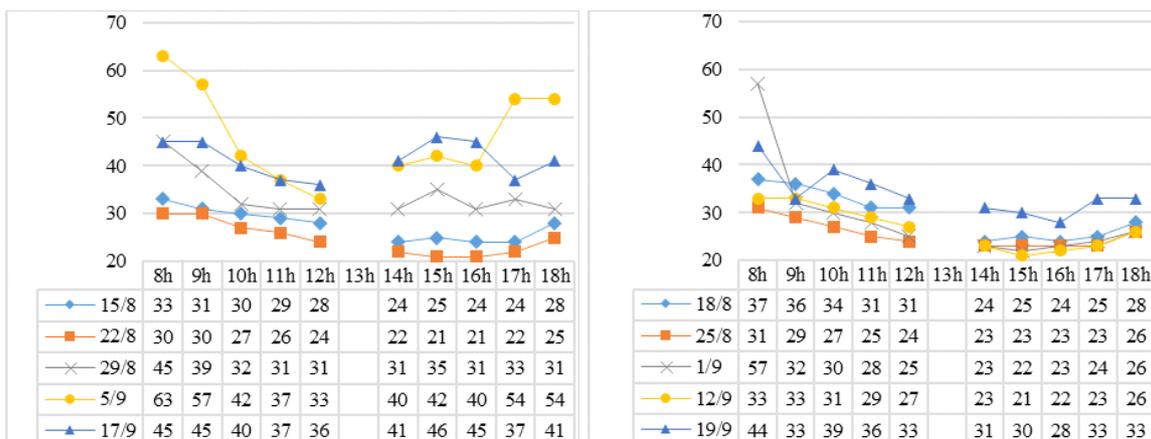


FIGURA 8 – Umidade Relativa na Avenida JK (%). FIGURA 9 – Umidade Relativa na Praça dos Girassóis (%).

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

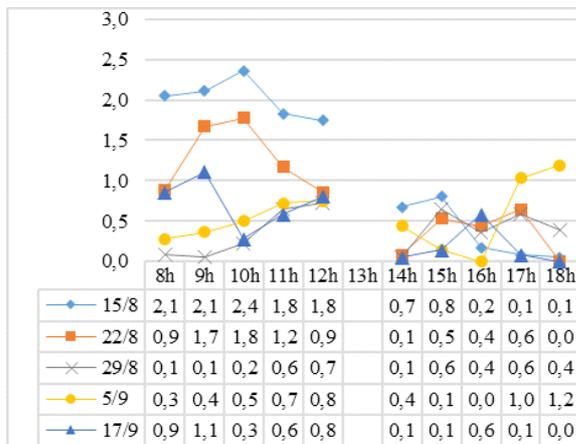


FIGURA 10 – Velocidade do ar na Avenida JK (m/s).
Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

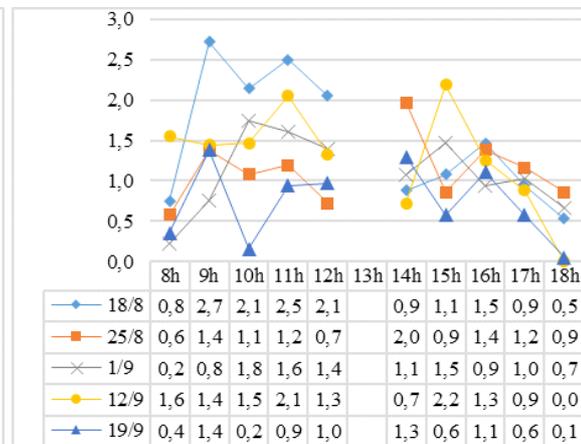


FIGURA 11 – Velocidade do ar na Praça dos Girassóis (m/s).

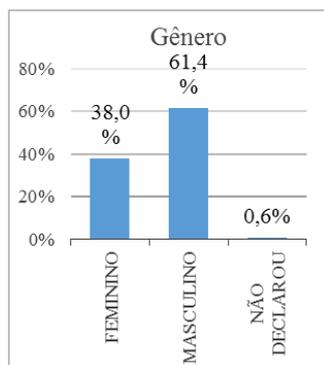


FIGURA 12 – Frequência relativa da amostra por Gênero.
Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

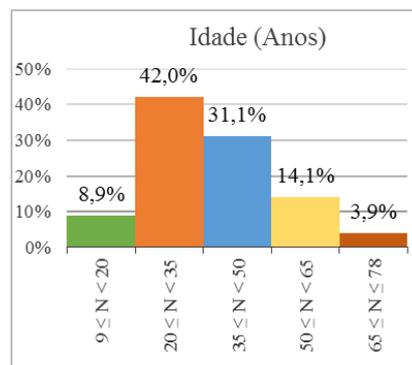


FIGURA 13 – Frequência relativa da amostra por Idade.

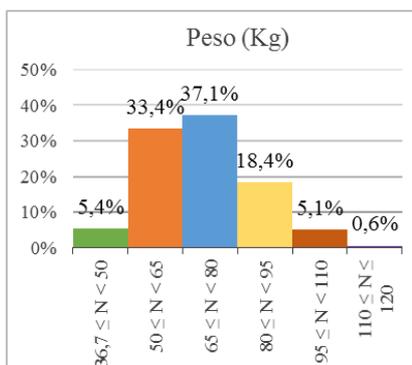


FIGURA 14 – Frequência relativa da amostra por Peso.
Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

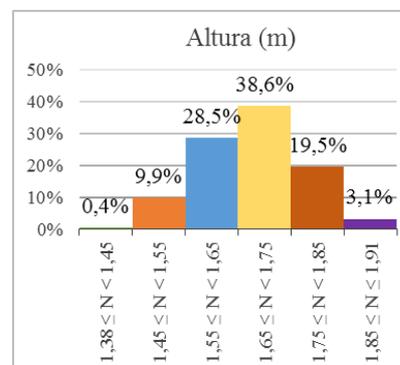


FIGURA 15 – Frequência relativa da amostra por Altura.

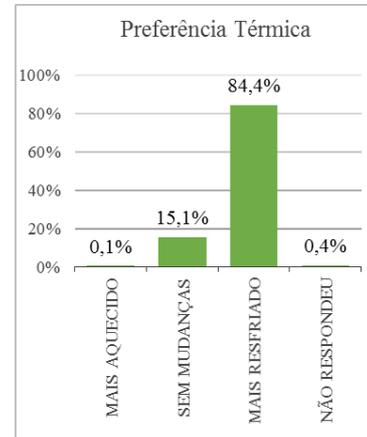
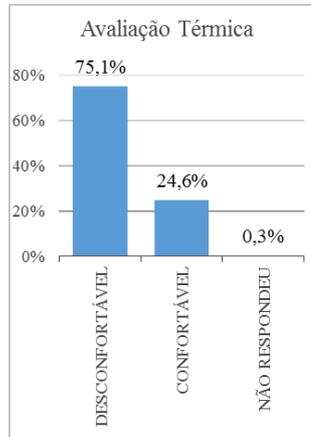
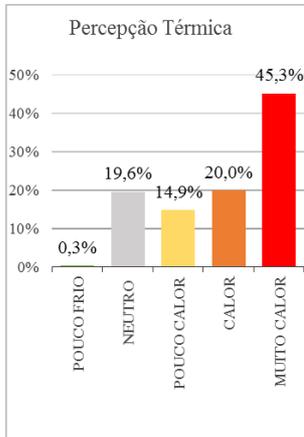


FIGURA 16 – Frequência relativa da Percepção Térmica dos entrevistados. FIGURA 17 – Frequência relativa da Avaliação Térmica dos entrevistados. FIGURA 18 – Frequência relativa da Preferência Térmica dos entrevistados.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

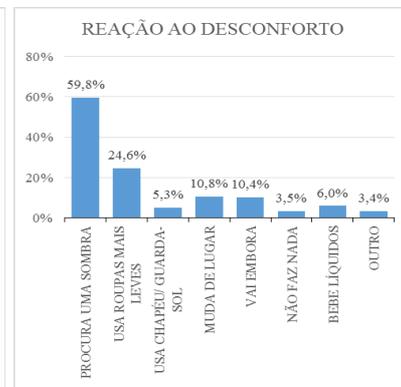
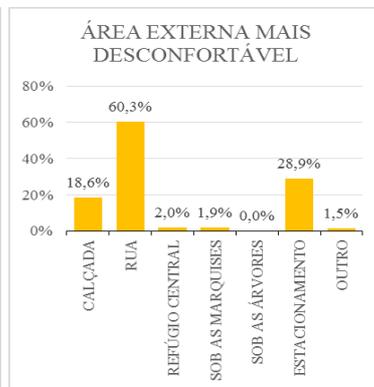
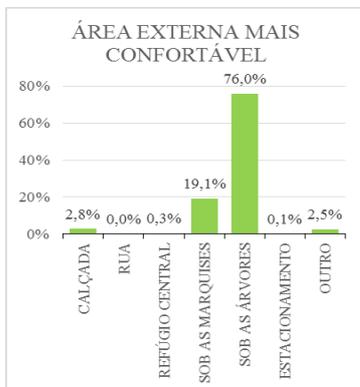


FIGURA 19 – Área externa mais confortável.

FIGURA 20 – Área externa mais desconfortável.

FIGURA 21 – Reação ao desconforto.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

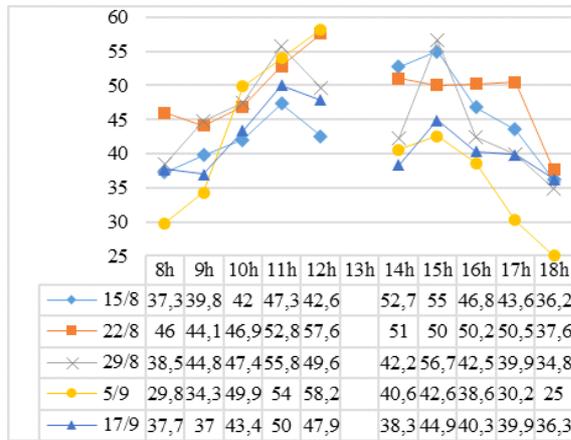


FIGURA 22 – Índice PET na Avenida JK.
Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

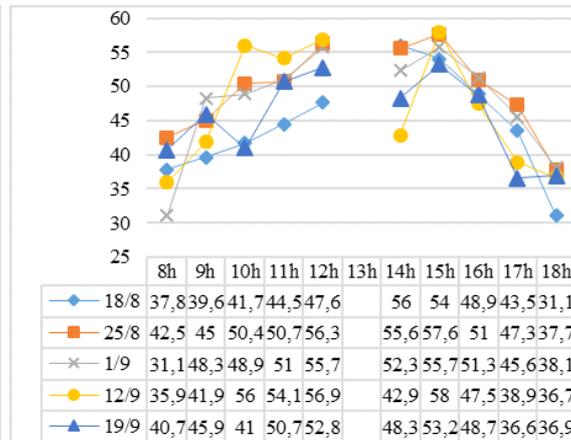


FIGURA 23 – Índice PET na Praça dos Girassóis.

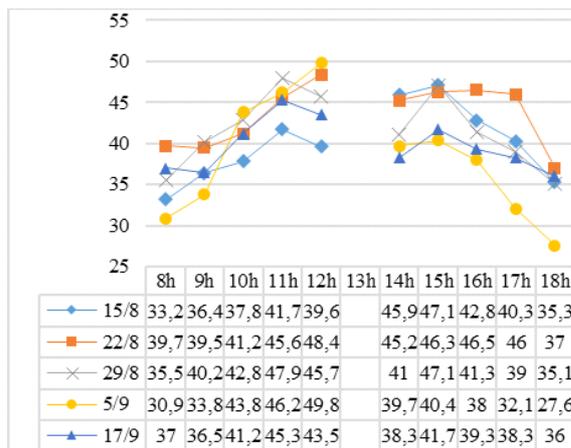


FIGURA 24 – Índice UTCI na Avenida JK.
Fonte: Elaborado pelas autoras (2015).

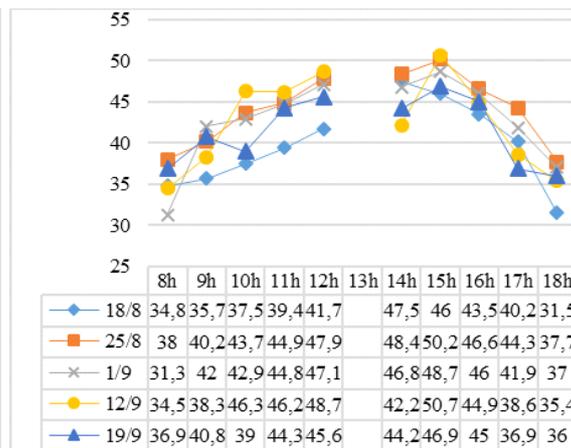


FIGURA 25 – Índice UTCI na Praça dos Girassóis.

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |t_g - t_a|^{1/4} \cdot (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \tag{Equação (1)}$$

Onde: t_r é a temperatura radiante média (°C)
 t_g é a temperatura do termômetro de globo (°C)
 t_a é a temperatura do ar (°C)

Fonte: ISO 7726 (ISO, 1998, p. 16).

$$t_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} \cdot (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \tag{Equação (2)}$$

Onde: t_r é a temperatura radiante média (°C)

t_g é a temperatura do termômetro de globo (°C)

t_a é a temperatura do ar (°C)

v_a é a velocidade do ar na altura do globo (m/s).

Fonte: ISO 7726 (ISO, 1998, p. 16).

$$v_a = v_{a_{xm}} \cdot \log(10/0,01) / \log(x/0,01)$$

Equação (3)

Onde: v_a é a velocidade do vento a 10 m de altura (m/s).

$v_{a_{xm}}$ é a velocidade do vento medida a x metros (m/s).

x é a altura em que a velocidade do vento foi medida (m)

Fonte: Bröde *et al.* (2012, p. 491).