



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

CALIBRAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO TEMPERATURA EQUIVALENTE FISIOLÓGICA (PET) PARA ESPAÇOS ABERTOS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE - MG

Simone Queiroz da Silveira Hirashima (1), Eleonora Sad de Assis (2), Daniele Gomes Ferreira (3)

(1) M.Sc., Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, simoneqs@yahoo.com.br

(2) D.Sc., Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, elsad@ufmg.br

(3) M.Sc., Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, dani.gferreira@yahoo.com.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, Laboratório de Conforto e Eficiência Energética, Rua Paraíba, 697, sala 124, Belo Horizonte – MG, 30130-140, Tel.: (31) 3409-8825

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo a proposição de procedimentos para medição de variáveis microclimáticas urbanas, coleta de variáveis individuais e subjetivas e tratamento dos dados obtidos, com vistas à calibração do índice Temperatura Equivalente Fisiológica (PET), para espaços abertos do município de Belo Horizonte/MG. O método geral utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi o método indutivo experimental. As campanhas de coletas de dados, realizadas durante os anos de 2009 e 2010, abrangeram as variações diárias e sazonais das condições climáticas locais. Como resultados, foram delimitados intervalos do Índice Térmico PET para diferentes graus de percepção térmica para Belo Horizonte. Os procedimentos adotados apontam a possibilidade da sua aplicação a outros casos a fim de se obter a calibração deste índice considerando os aspectos físicos e fisiológicos, além dos fatores adaptativos que influenciam no balanço térmico do corpo humano.

Palavras-chave: temperatura equivalente fisiológica (PET), índice de conforto térmico, clima urbano.

ABSTRACT

This study aimed to propose procedures for measuring urban microclimatic variables, collecting individual and subjective variables and treating data, in order to calibrate the Physiological Equivalent Temperature (PET) index, for open spaces in the city of Belo Horizonte MG. The general method used for the development of this study was the experimental inductive method. The campaigns of data collection, that took place during the years 2009 and 2010, embraced daily and seasonal variations of local climate conditions. As a result, ranges of the PET index were delimitated for different grades of thermal perception to Belo Horizonte. The adopted procedures point out the possibility of its application to other cases in order to obtain the calibration of this index considering the physical and physiological aspects, in addition to the adaptive factors that influence the thermal balance of the human body.

Keywords: physiological equivalent temperature (PET), thermal comfort index, urban climate.

1. INTRODUÇÃO

Estudos demonstram que as alterações climáticas provocadas pelo processo de urbanização das cidades influenciam no conforto térmico de seus habitantes. A quantificação das sensações térmicas dos indivíduos pode ser obtida por meio da utilização dos índices de conforto, os quais devem ser calibrados para cada população e locais específicos a fim de se determinar as condições climáticas confortáveis. Neste estudo, optou-se pela utilização do índice Temperatura Equivalente Fisiológica (PET), baseado em um modelo de balanço termofisiológico, que vem sendo amplamente adotado nas avaliações referentes ao conforto térmico em ambientes externos.

O índice PET, desenvolvido a partir do Modelo de Balanço Energético de Munique para Indivíduos - *Munich Energy-balance Model for Individuals* (MEMI), foi introduzido por Höpfe e Mayer, em 1987 (MAYER; HÖPPE, 1987 *apud* HÖPPE, 1999). Höpfe (1999) o define como a temperatura fisiológica em qualquer lugar considerado, seja ambiente externo ou interno, que é equivalente à temperatura do ar na qual, em um típico cenário de ambiente interno, o balanço térmico do corpo humano (metabolismo de 80W devido a atividade física leve adicionado ao metabolismo basal, resistência térmica da roupa 0,9clo) é mantido com as temperaturas do centro do corpo e da pele iguais àquelas existentes sob as condições que estão sendo avaliadas. Originalmente o PET não apresenta faixas de referência para a sua interpretação, uma vez que sua proposta é que a avaliação seja feita em relação ao ambiente de referência (PRATA *et al.*, 2008).

Em 1996, porém, Matzarakis e Mayer (*apud* MATZARAKIS *et al.*, 1999) relacionaram intervalos do PMV (*Predicted Mean Vote – Voto Médio Estimado*), para percepção térmica, e o grau de estresse fisiológico para os seres humanos (FANGER, 1972; MAYER, 1993 *apud* MATZARAKIS *et al.*, 1999) aos intervalos de PET correspondentes (Tabela 1), que somente são válidos para os valores adotados de produção interna de calor e resistência térmica da vestimenta (MATZARAKIS *et al.*, 1999).

Tabela 1 - Intervalos do índice térmico PET para diferentes graus de percepção térmica dos seres humanos, considerando produção interna de calor de 80W e resistência térmica da vestimenta 0,9clo (de acordo com JENDRITZKY *et al.*, 1990 *apud* MATZARAKIS; MAYER; 1997)

PMV	PET (°C)	Percepção térmica	Grau de estresse fisiológico
Abaixo de -3,5	Abaixo de 4	Muito frio	Extremo estresse de frio
-3.5 a -2.5	4 - 8	Frio	Forte estresse de frio
-2.5 a -1.5	8 - 13	Pouco frio	Moderado estresse de frio
-1.5 a -0.5	13 - 18	Ligeiramente frio	Leve estresse de frio
-0.5 a 0.5	18 - 23	Confortável	Não há estresse térmico
0.5 a 1.5	23 - 29	Ligeiramente calor	Leve estresse de calor
1.5 a 2.5	29 - 35	Pouco calor	Moderado estresse de calor
2.5 a 3.5	35 - 41	Calor	Forte estresse de calor
Acima de 3.5	Acima de 41	Muito calor	Extremo estresse de calor

Fonte: Adaptada pelas autoras a partir da Tabela 1, apresentada em MATZARAKIS *et al.*, 1999, p. 77.

No cenário nacional, Monteiro (2008) apresenta a calibração do PET para São Paulo, a qual foi realizada por meio de método iterativo, através da variação dos limites de cada faixa interpretativa visando maximizar a correlação entre os valores fornecidos por essas e os valores das respostas subjetivas de sensação térmica.

Tabela 2 - Calibração proposta para o índice PET para a cidade de São Paulo (SP)

Sensação térmica	PET (°C)
Muito calor	Acima de 43
Calor	31 - 43
Pouco calor	26 - 31
Neutra	18 - 26
Pouco frio	12 - 18
Frio	4 - 12
Muito frio	Abaixo de 4

Fonte: MONTEIRO, 2008.

Apesar de grande parte dos estudos de conforto térmico em ambientes abertos utilizarem modelos puramente fisiológicos para calcular a sensação térmica dos indivíduos, Nikolopoulou, Lykoudis e Kikira (2004), afirmam que os levantamentos de campo revelam que a abordagem puramente fisiológica é insuficiente para caracterizar as condições de conforto térmico no exterior, ao passo que a questão da adaptação torna-se cada vez mais importante (NIKOLOPOULOU *et al.*, 2004).

Nikolopoulou *et al.* (1999 *apud* NIKOLOPOULOU, 2004), definem o termo *adaptação* como a diminuição gradual da resposta do organismo à exposição repetida a um estímulo, envolvendo todas as ações que os tornam mais adequados para sobreviver em tal ambiente. No contexto de conforto térmico, isso pode envolver todos os processos que as pessoas atravessam para melhorar o ajuste entre o ambiente e as suas necessidades, dividindo a oportunidade adaptativa em três diferentes categorias: adaptação física, fisiológica e psicológica.

Portanto, a calibração dos índices requer a consideração não somente dos aspectos físicos e fisiológicos que interferem no balanço térmico do corpo humano, mas também dos fatores adaptativos, utilizados pela população local para se ajustar às condições climáticas específicas, justificando assim a necessidade da realização dos levantamentos de campo para coleta dos dados subjetivos que, posteriormente, deverão ser relacionados aos valores objetivos dos índices.

O presente estudo foi conduzido no município de Belo Horizonte/MG, cujo clima, considerado genericamente como tropical de altitude, é marcado por invernos secos e verões úmidos com temperatura média anual de 21°C, e temperatura média do mês mais frio de 13,1°C. A média anual da umidade relativa é de 72,2%. A direção predominante do vento é leste e a velocidade média é de 1,4 m/s.

2. OBJETIVO

Este estudo objetivou a proposição de uma metodologia para obtenção em campo das variáveis envolvidas no processo de avaliação térmica dos ambientes externos e a definição de procedimentos para a calibração do índice PET para espaços abertos do município de Belo Horizonte/MG.

3. METODOLOGIA

Pode-se dividir a metodologia empregada em três etapas: *etapa preparatória*, na qual foram desenvolvidos os procedimentos para coleta de dados e organizados os levantamentos de campo; *etapa de coleta de dados*, na qual se procedeu à coleta de dados representativos das quatro estações do ano, e *etapa de tratamento dos dados coletados*, durante a qual os dados foram processados e analisados (HIRASHIMA, 2010).

A Etapa Preparatória iniciou-se com o processo de definição da amostra, o qual considerou a população adulta (de 20 a 59 anos) e residente ininterruptamente há mais de um ano no município. A seleção das áreas de estudo considerou características contrastantes da morfologia urbana com relação à arborização, ao fator de visão do céu, à altura dos edifícios, ao tipo de cobertura do solo e à presença de fontes de água, com vistas à obtenção de maior variabilidade nos valores de PET. Outro aspecto considerado na definição das áreas de estudo foi o intenso fluxo de pessoas para viabilizar a aplicação de grande número de questionários. Diante destas características, optou-se pela realização das campanhas nas Praças da Liberdade e Sete de Setembro (Figuras 1 e 2).



1



1.1



Figura 1 – Praça da Liberdade: área menos verticalizada, com muita área verde, com maior fator de visão do céu, com solo permeável - em grande parte sem pavimentação e com muitas fontes de água (HIRASHIMA, 2010).

Figura 2 – Praça Sete de Setembro: área muito verticalizada, com poucas árvores, com menor fator de visão do céu, com solo menos permeável – quase todo pavimentado e sem fontes de água (HIRASHIMA, 2010).

Nesta etapa também foram definidas as variáveis a serem coletadas, ou seja, aquelas que direta ou indiretamente, influenciam no balanço térmico do corpo humano: variáveis microclimáticas (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento, temperatura de globo e temperatura radiante média), variáveis individuais (idade, sexo, altura, peso, taxa metabólica e isolamento térmico da vestimenta e localização do entrevistado no sol ou à sombra) e variáveis subjetivas (percepção, avaliação e preferência de sensações

térmicas). Além das variáveis foram coletados alguns dados-controle, os quais se relacionam aos aspectos físicos, psicológicos e culturais que podem influenciar nas respostas dos indivíduos (local de moradia, ingestão de alimentos ou bebidas anteriormente à entrevista, entendimento do questionário, dentre outros). A elaboração dos questionários considerou a norma internacional ISO 10551 (1995), a qual estabelece as escalas de julgamento subjetivo de ambientes do ponto de vista térmico. Utilizaram-se três questionários distintos que, ao serem aplicados por dupla de entrevistadores, tornaram a coleta de dados mais eficiente. O primeiro deles contém perguntas eliminatórias, o segundo, a coleta das variáveis individuais e subjetivas e o terceiro, dados possíveis de serem coletados por meio da observação, como a atividade física, o sexo, a vestimenta, a localização ao sol ou à sombra dos entrevistados, dentre outros. Os questionários válidos, aqueles não eliminados no primeiro questionário e, portanto, considerados na pesquisa, abrangeram indivíduos aclimatados às condições climáticas dos ambientes externos no momento da entrevista e que não apresentassem problemas de saúde ou nenhuma das várias situações previamente estabelecidas que alterassem a percepção de sensações térmicas no momento das entrevistas. Esta etapa também incluiu a fase de confecção e de aferição de instrumentação, como é o caso, respectivamente, do termômetro de globo cinza de diâmetro de 40mm, confeccionado com bolas de tenis de mesa, e do abrigo meteorológico, feito de peças de PVC, os quais foram detalhados na parte 2 deste mesmo artigo. A escolha dos instrumentos de medição de dados climáticos, bem como os procedimentos para sua obtenção observaram as recomendações da norma ISO 7726 (1998). Anteriormente à realização dos levantamentos de campo todos os instrumentos de medição utilizados foram calibrados e/ou aferidos, assim como os questionários e os procedimentos gerais de coleta de dados foram testados por meio de pré-testes realizados em campo. Os levantamentos de campo, bem como as pesquisas exploratórias, foram precedidas de treinamento da equipe.

A Etapa de Coleta de Dados, objetivando a abrangência de grande parte das variações climáticas locais e buscando registrar a maior amplitude térmica anual possível, ocorreu em dias representativos de cada uma das quatro estações, durante os anos de 2009 e 2010, conforme apresentado na Tabela 3. No período correspondente ao inverno foram realizadas duas campanhas, pois esta estação foi atípica em Belo Horizonte no ano de 2009, com registros de temperatura acima do esperado para o período. No ano de 2010, por sua vez, a campanha foi realizada durante a manhã, pois neste período é que são registradas as menores temperaturas.

Tabela 3 - Período de realização das campanhas

Campanha	Praça da Liberdade			Praça Sete de Setembro			Estação do ano
	Dia	Quest. válidos	Horário das entrevistas	Dia	Quest. válidos	Horário das entrevistas	
Campanha 1	22/04/09	110	14h às 17h	23/04/2009	114	14h às 16:30h	Outono
Campanha 2	22/07/09	117	14h às 16:35h	21/07/2009	115	14h às 17h	Inverno
Campanha 3	15/10/09	126	13:30h às 17h	14/10/2009	120	13:30h às 17:30h	Primavera
Campanha 4	28/01/10	126	13h às 18h	29/01/2010	116	13h às 18h	Verão
Campanha 5	07/07/10	103	6:50h às 12:30h	08/07/2010	135	6:50h às 11h	Inverno

Em cada uma das praças, foram selecionados dois pontos de medição distintos, um ao sol e outro à sombra, e os questionários foram aplicados nas proximidades desses pontos. Os instrumentos de medição (termohigrômetro, termômetros de globo e anemômetro) foram montados em tripés, a 1,1m de altura, 30 minutos antes do início dos levantamentos, tempo necessário para a estabilização das medidas dos termômetros de globo. Os dados foram registrados a cada 5 minutos.

A Etapa de Tratamento dos Dados Coletados iniciou-se com o cálculo do PET por meio da utilização de um programa computacional desenvolvido na Universidade de Freiburg, versão de J. HOLST (2007). O tratamento estatístico dos dados foi realizado em duas etapas distintas: análise descritiva e regressão logística ordinal. Optou-se pela utilização desse tipo de regressão uma vez que as respostas subjetivas de sensação térmica, que possui relação não linear com as variáveis que a influenciam, são categorizadas e possuem ordenação, apresentando, também, uma escala intrínseca cuja neutralidade é percebida pelos entrevistados que tendem, em suas respostas, inconscientemente, a não se distanciarem muito desta neutralidade. Utilizou-se o Modelo de Odds Proporcionais (MOP), no qual são considerados (k-1) pontos de corte das categorias sendo que o j-ésimo (j=1,...,k-1) ponto de corte é baseado na comparação de probabilidades acumuladas (ABREU *et. al.*, 2009). A indicação de uso deste modelo, conforme Abreu *et. al.* (2009), é quando a variável resposta original é contínua e, posteriormente, agrupada e a suposição de chances proporcionais é válida.

Utilizou-se o programa computacional SPSS® para a realização do tratamento estatístico utilizando regressão logística ordinal, no qual foram considerados, como variável dependente, a resposta subjetiva de sensação térmica, e como variável independente, os valores de PET calculados para cada indivíduo. Dessa forma, foi possível gerar valores de pontos de corte (*cut points*) e do coeficiente de regressão (β) que, posteriormente, foram inseridos em uma planilha de trabalho denominada *Logit Post Estimation* e desenvolvida por Cheng e Long (2000) para uso no programa MS-Excel®, a qual estima as probabilidades de resposta em cada uma das categorias de sensação térmica em função dos valores de PET, permitindo, assim, a geração, no MS-Excel®, das curvas resultantes da análise.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Durante as cinco campanhas realizadas foram aplicados 1.182 questionários válidos, sendo 582 destes realizados na Praça da Liberdade e 600 na Praça Sete de Setembro. Considerando que a amostra recomendada para a população de Belo Horizonte, calculada por amostragem aleatória para população na faixa etária de 20 a 59 anos, é de 800, para um erro amostral de 10% (HIRASHIMA, 2010) e que o número de questionários aplicados nas cinco campanhas foi superior a este número, temos que o erro amostral desse estudo foi inferior a 10%.

Embora ambas as praças se localizem na área central de Belo Horizonte, esses locais são frequentados por pessoas residentes em todas as regiões do município, conforme pode ser constatado na distribuição de frequência por áreas administrativas regionais da cidade, referentes ao local de moradia dos entrevistados. A boa distribuição espacial do local de moradia dos entrevistados no município garantiu a representatividade da calibração do índice para o município como um todo.

A seguir são apresentados os resultados. Inicialmente realizou-se uma análise descritiva dos dados microclimáticos coletados (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e nebulosidade), de variáveis calculadas (temperatura radiante média e PET) além da percepção de sensação térmica dos entrevistados para cada praça onde foram realizadas as campanhas, variável subjetiva. Em seguida apresenta-se a calibração do índice PET para espaços abertos em Belo Horizonte.

4.1. Análise descritiva de dados microclimáticos e variáveis subjetivas

As Figuras 3 a 6 apresentam a série de dados microclimáticos medidos (temperatura do ar e umidade relativa) e calculados (temperatura radiante média) a cada 5 minutos durante as cinco campanhas. A largura das faixas representativas de cada uma das campanhas corresponde ao período das medições, apresentado na Tabela 3.

Com relação à temperatura do ar (Figuras 3 e 4), nota-se que em ambas as praças os menores registros referem-se à quinta campanha, que corresponde ao período de inverno do ano de 2010. Como mencionado no item “Metodologia” deste trabalho, a Campanha 2 também ocorreu no inverno, em 2009, contudo é possível observar que os dados de temperatura na Praça da Liberdade foram superiores aos registrados na Campanha 1, que corresponde ao outono (2009), justificando a repetição do trabalho de campo no ano de 2010. Quanto aos valores mínimos e máximos registrados em todas as campanhas, tem-se que, à sombra, estes corresponderam a 15°C e 31°C, respectivamente, enquanto que ao sol o valor mínimo foi o mesmo coletado à sombra e o máximo foi de 32,1°C. A média dos valores coletados para todo o período foi 25,2°C na sombra e 26,4°C ao sol.

Quanto aos valores de umidade relativa (Figuras 3 e 4), os menores registros ocorreram no sol, na Praça da Liberdade, nas campanhas de inverno (C2 e C5). Na Praça Sete de Setembro os valores mais baixos foram coletados no outono. No conjunto de dados, o valor médio de umidade relativa foi superior a 50%, enquanto que o valor máximo foi de 71,5%, abaixo da média anual normal para a cidade de Belo Horizonte.

A Tabela 4 apresenta os valores mínimo, máximo e a média da velocidade do vento para cada campanha. O valor mínimo registrado para ambas as praças foi de 0 m/s. Na Praça da Liberdade a velocidade máxima foi de 3,8 m/s, registrada na campanha realizada no inverno de 2010, enquanto na Praça Sete de Setembro a máxima foi de 4,4 m/s medido no outono. Os valores máximos e as médias nas Campanhas 1 a 4 foram maiores na Praça Sete de Setembro.

Quanto à nebulosidade, os dados referem-se aos registros da estação meteorológica principal de Belo Horizonte, operada pelo 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (5º DISME/INMET). Nas Campanhas de 1 a 4, os registros foram realizados às 15h (18 UTC), considerando o horário local sem correção para o horário de verão. Na Campanha 5, os dados utilizados corresponderam às 9h (12 UTC). Nota-se que na campanha de inverno de 2010 (C5) a nebulosidade foi igual a zero, o que

representa bem a condição de céu claro nesta época do ano em Belo Horizonte. Os maiores índices de nebulosidade para ambas as praças, por sua vez, foram registrados na campanha realizada na primavera (C3).

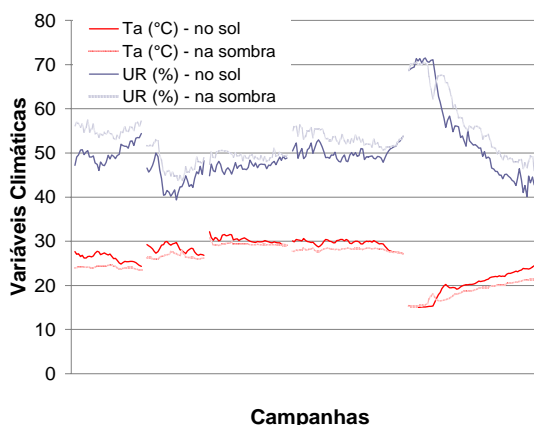


Figura 3 - Série de dados medidos de Temperatura do Ar (Ta) e Umidade Relativa (UR) para todas as campanhas na Praça da Liberdade

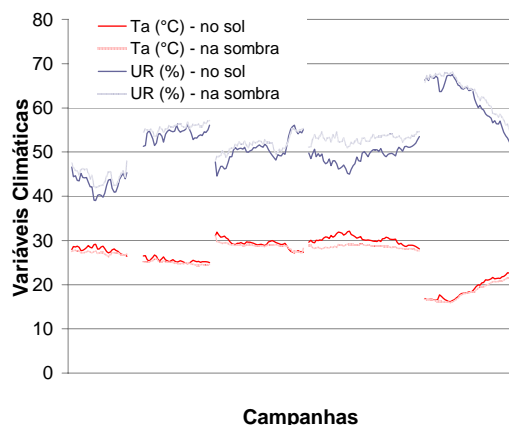


Figura 4 - Série de dados medidos de Temperatura do Ar (Ta) e Umidade Relativa (UR) para todas as campanhas na Praça Sete de Setembro

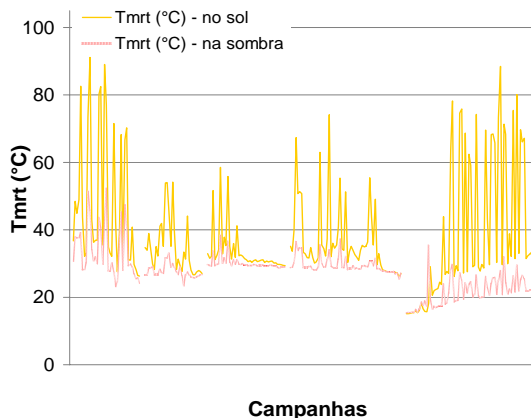


Figura 5 - Série de dados calculados de Temperatura radiante média (Tmrt) para todas as campanhas na Praça da Liberdade

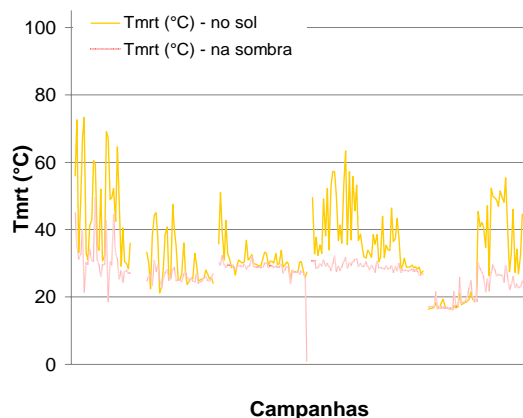


Figura 6 - Série de dados calculados de Temperatura radiante média (Tmrt) para todas as campanhas na Praça Sete de Setembro

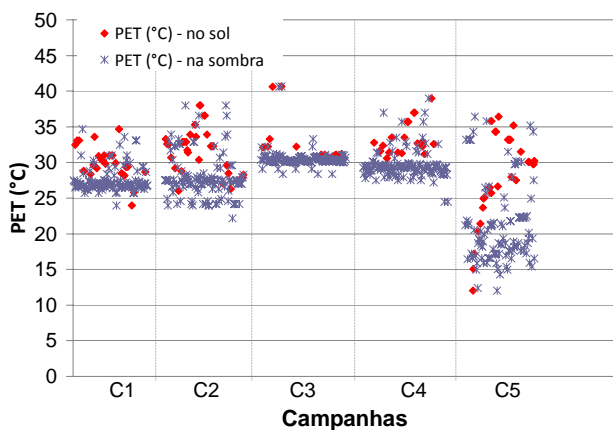


Figura 7 - Gráfico de dispersão dos valores calculados de temperatura equivalente fisiológica (°C) para todas as campanhas na Praça da Liberdade

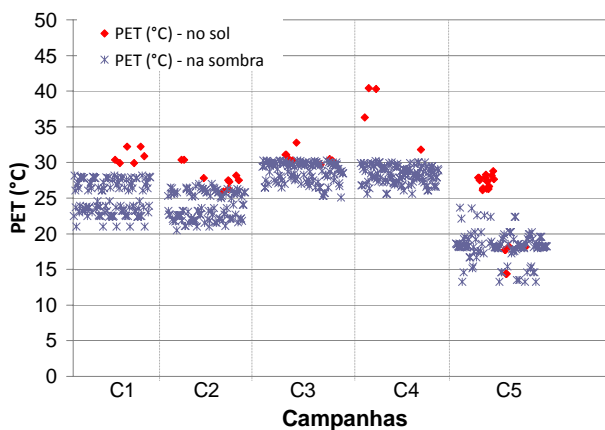


Figura 8 - Gráfico de dispersão dos valores calculados de temperatura equivalente fisiológica (°C) para todas as campanhas na Praça Sete de Setembro

Com relação à temperatura radiante média (Figuras 5 e 6), os menores valores foram estimados no inverno (C5), na sombra. Nota-se que os valores calculados para o ponto localizado na sombra apresentam menor variabilidade e menor dispersão que os valores dessa variável estimados no sol. Essa grande variabilidade e dispersão dos dados no sol são previsíveis, uma vez que os parâmetros temperatura do ar e de globo, utilizados no cálculo da temperatura radiante média juntamente com os valores de velocidade do ar,

foram também mais variáveis e mais dispersos quando medidos no sol (HIRASHIMA, 2010). A média de T_{mrt} para todas as campanhas foi de $36,5^{\circ}\text{C}$ no sol e $27,4^{\circ}\text{C}$ na sombra.

Tabela 4 - Valores mínimo, máximo e média da velocidade do vento e nebulosidade para cada campanha

Campanha	Praça da Liberdade				Praça Sete de Setembro			
	Velocidade do vento (m/s)			Nebulosidade (décimos de céu)	Velocidade do vento (m/s)			Nebulosidade (décimos de céu)
	Mínimo	Máximo	Média		Mínimo	Máximo	Média	
Campanha 1	0,0	3,1	0,6	3	0,0	4,4	1,2	7
Campanha 2	0,0	2,6	0,6	5	0,0	3,5	1,2	6
Campanha 3	0,0	2,2	0,2	8	0,0	3,0	0,7	8
Campanha 4	0,0	3,0	0,4	5	0,0	3,2	0,9	6
Campanha 5	0,0	3,8	0,8	0	0,0	2,5	0,8	0

As Figuras 7 e 8 apresentam a dispersão dos valores calculados de temperatura equivalente fisiológica (PET) para todas as campanhas. Nota-se que na Campanha 5 concentram-se os menores valores de PET, entre 12 e 25°C . Contudo, a maior parte deles são superiores a 15°C . Nas Campanhas 1 a 4 os valores calculados de PET estão concentrados entre 20 e 35°C . Do ponto de vista do planejamento urbano, uma constatação interessante foi o fato de que, em ambas as áreas estudadas e em todas as estações do ano, a localização dos entrevistados durante a entrevista foi mais frequente na sombra. Estar à sombra pode ser uma ação de conforto adaptativo frequentemente utilizada para minimizar as influências das altas temperaturas radiantes médias encontradas ao sol e que aumentam significativamente os valores de PET. Essa constatação pode vir a confirmar a importância de proporcionar sombreamento nos espaços abertos em climas tropicais (HIRASHIMA, 2010). O fato de as pessoas estarem predominantemente à sombra, mesmo durante a Campanha 5, a qual apresentou os menores valores de temperatura do ar, justifica a faixa relativamente pequena encontrada para o PET (de 12 a 41°C). Os valores discrepantes de PET, próximos aos 35°C e 40°C , referem-se principalmente a indivíduos ao sol. Esse resultado é coerente com os apresentados para as variáveis climáticas, uma vez que, nas situações em que as medições foram realizadas ao sol, os valores obtidos eram superiores aos medidos na sombra, repercutindo também em valores mais elevados do índice PET para pessoas localizadas ao sol durante as entrevistas.

Na análise de variáveis subjetivas, as Figuras 9 e 10 mostram a percepção de sensação térmica dos entrevistados quando estes eram perguntados sobre como se sentiam no momento da entrevista. Para todas as estações do ano predomina a resposta para a categoria “bem”. Na Campanha 4, realizada no verão, há grande ocorrência de respostas em que o entrevistado se sente com “pouco calor”, “com calor” e com “muito calor”. No inverno (C5), as categorias “pouco frio” e “com frio” têm maior representatividade.

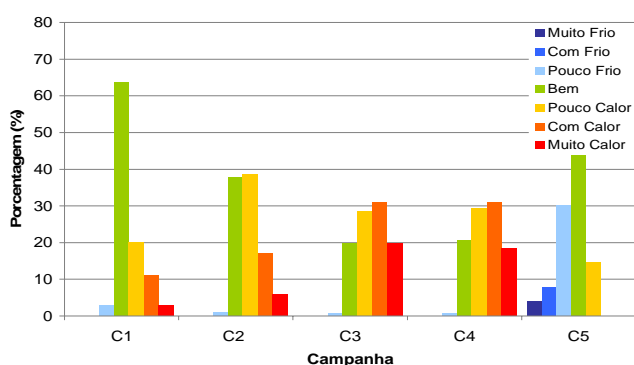


Figura 9 - Porcentagem de resposta dos entrevistados sobre a percepção de sensação térmica para todas as campanhas na Praça da Liberdade

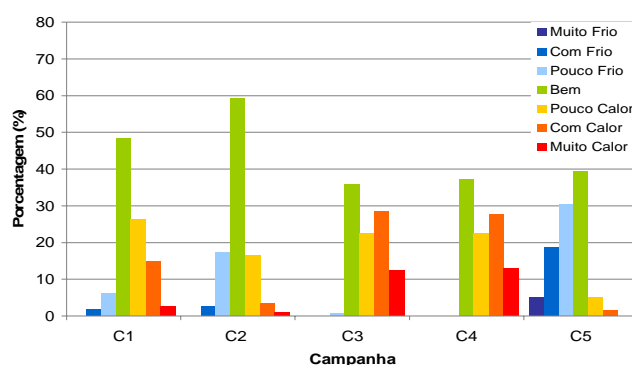


Figura 10 - Porcentagem de resposta dos entrevistados sobre a percepção de sensação térmica para todas as campanhas na Praça Sete de Setembro

Após o tratamento de dados microclimáticos e dos resultados obtidos na aplicação de questionários foi possível calibrar o índice PET para espaços abertos na cidade de Belo Horizonte, como demonstra o item a seguir.

4.2. Calibração do índice PET para Belo Horizonte

A Figura 11 apresenta o resultado da regressão logística ordinal obtida a partir dos dados coletados em campo, ou seja, para uma amplitude de PET de 12 a 41°C, para todo o período em que as medições ocorreram. As faixas de percepção térmica são delimitadas pelo cruzamento das curvas correspondentes ao início e ao final de cada um dos intervalos, respectivamente, associados aos valores de PET no eixo X. Assim foi possível inferir as faixas de calibração do índice PET para espaços abertos de Belo Horizonte, apresentados na Tabela 5.

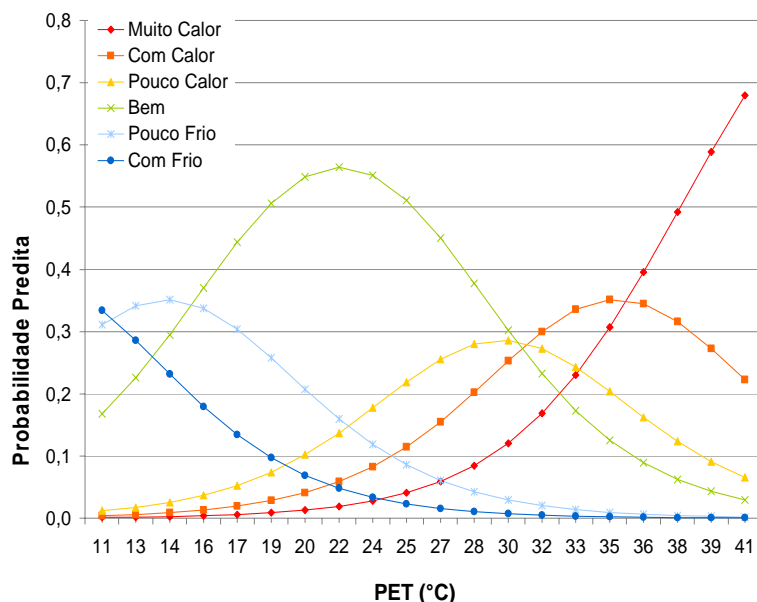


Figura 11 - Calibração do Índice PET para espaços abertos do município de Belo Horizonte, obtido por meio de regressão logística ordinal

Tabela 5 - Intervalos do Índice Térmico PET para diferentes graus de percepção térmica encontrados para Belo Horizonte

Percepção Térmica	PET (°C)
Com frio	Abaixo de 12,0
Com pouco frio	12,0 a 15,5
Confortável	15,5 a 30,5
Com pouco calor	30,5 a 31,0
Com calor	31,0 a 35,5
Com muito calor	Acima de 35,5

O menor valor calculado para o PET foi de 12°C, o que delimitou o limite superior da faixa de percepção térmica de “frio”. Valores inferiores a este não foram obtidos, não sendo possível assim determinar a faixa de “muito frio”. A faixa “pouco frio” apresentou um intervalo de cerca de 3°C, que pode ser considerado pequeno principalmente se comparado à faixa “confortável”, cuja amplitude foi de 15°C. A faixa de “pouco calor”, por sua vez, abrange um intervalo de temperatura de apenas 0,5°C e deve-se atentar que esta diferença pode corresponder a erros de estimativa de dados climáticos. Na faixa de “calor” os limites superiores e inferiores tiveram uma variação de 4,5°C e a faixa de “muito calor” teve seu limite inferior igual 35,5°C. Com base na amostragem realizada pode-se concluir que as pessoas se sentem confortáveis com relação às condições climáticas durante praticamente todo o ano em Belo Horizonte.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo apresentar uma metodologia de calibração do índice PET para espaços abertos considerando o município de Belo Horizonte/MG. Os resultados obtidos demonstram que os procedimentos adotados são satisfatórios e apontam a possibilidade da sua aplicação a outros casos, com os devidos ajustes na metodologia às peculiaridades de cada local, a fim de se obter a calibração deste índice

considerando os aspectos físicos e fisiológicos, além dos fatores adaptativos que influenciam no balanço térmico do corpo humano.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. N. S.; SIQUEIRA, A. L.; CAIAFFA, W.T. Regressão logística ordinal em estudos epidemiológicos. **Revista Saúde Pública**, v. 43, n.1, p. 183-94, 2009.
- CHENG, S.; LONG, J. S. **Xpost: Excel Workbooks for the Post-estimation Interpretation of Regression Models for Categorical Dependent Variables**, Indiana University, 2000.
- FANGER, P.O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1972 *apud* MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.
- HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura equivalente fisiológica (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte**, MG. 225f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature PET – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 71-75, 1999.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. Genève, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551: Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**. Genève:1995
- JENDRITZKY, G.; MENZ, G.; SCHIRMER, H.; SCHMIDT-KESSEN, W. **Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen**. Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell, 1990 *apud* MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Heat stress in Greece. **International Journal of Biometeorology**, v. 41, p. 34-39, 1997 *apud* MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M. G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H. **Another kind of environmental stress: thermal stress**. WHO News, v. 18, p. 7-10, 1996 *apud* MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.
- MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, p. 43-49, 1987 *apud* HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature PET – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 71-75, 1999.
- MAYER, H. Urban bioclimatology. **Experientia**, v. 49, p. 957-963, 1993 *apud* MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.
- MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. 378p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- NIKOLOPOULOU, M.; LYKOUDIS S.; KIKIRA, M. **Thermal comfort models for open urban spaces**. In: PROJECT RUROS - Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces. Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach. Centre for Renewable Energy Sources. 2004. Disponível em: <<http://alpha.cres.gr/ruros/>>. Acesso em: 15 jul. 2010.
- NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. (1999) **Thermal comfort in urban spaces: different forms of adaptation in** Perez Latoore, M. (ed.) **Proc. REBUILD 1999: Shaping Our Cities for the 21st Century**, Barcelona *apud* NIKOLOPOULOU, M. **Outdoor comfort**. In: STEANE, M. A.; STEEMERS, K. (Ed.) **Environmental Diversity in Architecture**. London; New York: Spon Press, 2004.
- NIKOLOPOULOU, M. **Outdoor comfort**. In: STEANE, M. A.; STEEMERS, K. (Ed.) **Environmental Diversity in Architecture**. London; New York: Spon Press, 2004.
- PRATA, A.; MONTEIRO, L. M.; FROTA, A. Ensaio de erosão em túnel de vento e aplicação do índice PET para a avaliação do conforto do pedestre. In: **CLIV08 - 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería del Viento, 2008**, Montevideo. 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería del Viento. Montevideo: Universidad de la República / Asociación Latinoamericana de Ingeniería del Viento, 2008.
- Physiological Equivalent Temperature (cálculo baseado no MEMI): software. Versão desenvolvida por HOLST, J. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2007.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem aos parceiros do projeto de cooperação bilateral entre Brasil e Alemanha, Edital CNPq 04/2007 (Clima Urbano, Planejamento Urbano e Mudanças Climáticas), cujas entidades integrantes são a Universidade Federal da Bahia (UFBA), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a Universidade de Kassel (Alemanha) e a Universidade de Freiburg (Alemanha); ao Programa Coimbra Group Scholarship Programme for Young Professors and Researchers from Latin American Universities; à agência FAPEMIG pelo apoio ao Programa de Bolsa ao Servidor Público Estadual e ao Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA/MG) por autorizar a participação da servidora Daniele Gomes Ferreira nesta pesquisa; aos estudantes e a todos aqueles que, voluntariamente, participaram dos levantamentos de campo e de outras etapas do desenvolvimento deste trabalho.