

Predição do índice de conforto térmico em edifícios de escritório na Alemanha

Prediction of thermal comfort index in office buildings in Germany

Ernesto Kuchen
Manfred Norbert Fisch
Guillermo Enrique Gonzalo
Graciela Noemí Nozica

Resumo

Padrões internacionais indicam quais são as exigências sobre conforto térmico que devem ser alcançadas em espaços de escritório. Elas se baseiam em um modelo desenvolvido pelo Prof. Paul Ole Fanger, no Centre for Indoor Environment and Energy, na Dinamarca. Hoje, quarenta anos de pesquisa mostram uma evolução desses indicadores. Este trabalho consiste no desenvolvimento de uma ferramenta para avaliar o conforto térmico em espaços de trabalho de edifícios de escritório. A metodologia baseia-se em medições e questionários realizados no local. Para o estudo de campo utiliza-se uma unidade móvel equipada com sensores e um questionário pelos quais se obtêm respostas dos usuários sobre a qualidade térmica do ambiente de trabalho. Levantam-se as condições térmicas de trinta edifícios de escritório na Alemanha com diferentes sistemas de climatização. A correlação entre os dados objetivos e subjetivos permite desenvolver uma fórmula que calcula o nível de insatisfação térmica em um ambiente determinado, em função de aspectos locais. Para os edifícios estudados, a temperatura de conforto é 23,3 °C e o percentual mínimo de usuários insatisfeitos é de 7%, sendo 2,3 K (Kelvin) menor que o modelo de Fanger, o que é significativo no balanço energético dos edifícios localizados em um clima da Europa central.

Palavras-chave: Trabalho de campo. Índice de conforto térmico. Temperatura de neutralidade. Sensação térmica. Preferência térmica.

Abstract

International standards provide thermal comfort requirements that office building spaces must comply with. These are based on a model developed by Prof. Paul Ole Fanger of the Centre for Indoor Environment and Energy, Denmark. Nowadays, 40 years of research show an evolution in those indicators. This research study consists of the development of tools to evaluate the thermal comfort of working environments of office buildings. A methodology was devised on the basis of on-site measurements and a questionnaire to users. For the field survey, a mobile unit equipped with sensors was used, whereas the questionnaire was concerned with the thermal quality of the work environment. The thermal conditions of thirty office buildings located in Germany presenting different acclimatization systems have been investigated. The correlation between objective and subjective data allows developing a formula that shows the thermal discomfort level for a given environment as a function of local aspects. For the sample of buildings analysed, the resulting comfortable temperature was 23.3 °C, and the minimum percentage of dissatisfied users was 7%, being 2.3 K (Kelvin) less than Fanger's model, and significant for the energy balance of buildings located in central European climate.

Keywords: Fieldwork. Thermal discomfort index. Neutral temperature. Thermal sensation. Thermal preference.

Ernesto Kuchen
Facultad de Arquitectura, Urbanismo
y Diseño
Universidad Nacional de San Juan
Av. Ignacio de La Roza y Meglioli
San Juan - Argentina
CP 5400
Tel.: +54 (0) 264 423-2395
E-mail:
ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar

Manfred Norbert Fisch
Fakultät für Architektur, Bauwesen
und Umweltwissenschaften
Technische Universität Braunschweig
Pockelsstrasse 23
38106 Braunschweig
Deutschland
Tel.: +49 (0) 531 391 0
E-mail: prof.fisch@egsplan.de

Guillermo Enrique Gonzalo
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Tucumán
Argentina
Av. Roca 1800,
Tucumán, CP4000
Tel.: +54 (0)381-4364-093
E-mail: ggonzalo@herrera.unt.edu.ar

Graciela Noemí Nozica
Facultad de Arquitectura, Urbanismo
y Diseño
Universidad Nacional de San Juan
Argentina
Tel.: +54 (0) 264 423-2395
E-mail: grnozica@unsj.edu.ar

Recebido em 14/03/11
Aceito em 23/08/11

Introdução

A avaliação de conforto térmico de um espaço realiza-se mediante a aplicação do índice PPD, *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Índice de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas), proposto na norma ISO 7730 (ISO, 2005). Esse índice é obtido com base em um modelo matemático desenvolvido por Fanger a partir de experimentos com pessoas em uma câmara climática controlada (FANGER, 1970). O modelo corresponde a uma amostra reduzida de pessoas submetidas por um mesmo ambiente térmico predefinido. Enquanto a temperatura operativa varia entre 66 e 90 °F (18,9 e 32,2 °C), os demais parâmetros físicos do ambiente que afetam o conforto térmico (umidade e velocidade do ar) e parâmetros físicos das pessoas (isolamento da roupa) e fisiológicos (níveis de atividade metabólica) permanecem constantes.

Considera-se que fatores pessoais, como a constituição corporal, o sexo e a ingestão de alimentos (FRANK, 1975; MAYER, 1998) e parâmetros do entorno imediato, como o clima exterior (BEDFORD, 1950; AULICIEMS, 1969), afetam a percepção térmica das pessoas. De acordo com os autores, os usuários não são receptores passivos do ambiente térmico; ao contrário, mantêm uma atitude crítica que resulta em um processo contínuo de adaptação (HELLWIG, 2005). Em diversos trabalhos de campo mostra-se a combinação entre fatores ambientais e não ambientais e sua influência sobre o conforto térmico em espaços reais de trabalho. Vários autores (HELLWIG; BISCHOF, 2006; BOESTRA, 2006; RAUE *et al.*, 2004; NICOL; HUMPHREYS, 2002; DE DEAR, 2004) sustentam que o emprego de normas como a ISO 7730, que se baseia no modelo de Fanger, apresenta desvios que são próprios do método de obtenção do mesmo. Além disso, veem-se limitadas no momento de contemplar uma visão holística do conforto e são úteis somente enquanto as condições térmicas permaneçam relativamente constantes. Indicam adicionalmente que a habilidade de adaptação dos usuários a diferentes ambientes térmicos não é relevante nos experimentos em câmara climática.

Pesquisas realizadas indicam que usuários adaptam-se a espaços com condições térmicas constantes definidas por um operador (KUCHEN; FISCH, 2009). Esses antecedentes justificam a necessidade de elaborar um modelo de conforto variável em função de aspectos locais, próprios do edifício e dos usuários.

Neste trabalho são estudadas as condições térmicas em 30 edifícios de escritório na Alemanha, em

diferentes estações do ano, com variações nos sistemas de ventilação e climatização. O objetivo é obter uma ferramenta para a avaliação do conforto térmico. Para isso, utiliza-se um método com base em medições e questionários, através de uma unidade móvel equipada com sensores e um questionário sobre o ambiente térmico. Da correlação entre dados objetivos e subjetivos, definem-se critérios de neutralidade térmica (satisfação térmica), desenvolve-se um modelo para a predição do conforto térmico (KUCHEN; FISCH, 2009), encontra-se uma fórmula que indica o percentual de insatisfeitos em função de aspectos locais (KUCHEN, 2008) e aplica-se uma metodologia de uso prático para profissionais da área de desempenho ambiental de edifícios, com o objetivo de diminuir o consumo de energia considerando a avaliação térmica dos espaços reais de trabalho.

O modelo de conforto que se desenvolve neste trabalho incorpora variáveis locais próprias do edifício e permite encontrar uma temperatura de conforto 2,3 K mais baixa que o modelo proposto por Fanger (1970). Diferentemente de Fanger (1970), esse novo modelo mostra que a adaptação térmica do usuário ao clima é um potencial a ser considerado no balanço energético anual do edifício.

O trabalho é fruto de uma pesquisa de doutorado, de título: "Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäude" (KUCHEN, 2008), desenvolvido no instituto "Institut für Gebäude- und Solartechnik" da Universidade Técnica de Braunschweig, Alemanha.

Procedimento

O método apresentado neste trabalho científico baseia-se em medições e questionários simultâneos através de um trabalho de campo realizado em 30 edifícios de escritório na Alemanha. As medições são realizadas mediante o uso de uma unidade móvel equipada com sensores de alta precisão e um questionário com perguntas sobre aspectos térmicos do espaço que, por meio de um voto, se traduz em dados em uma escala de valor. Da avaliação dos resultados, encontram-se correlações fortes entre o voto médio de sensação térmica, o voto médio de preferência térmica e os valores de temperatura operativa de medição.

Objeto de estudo

A base de dados para análise é composta de 30 edifícios de escritório, de não mais de 10 anos ou

reformados para cumprir normas internacionais referentes à eficiência energética. Esses edifícios encontram-se em um clima centro-europeu e estão localizados nas cidades alemãs de Berlim (quantidade de edifícios, $n=9$), Bonn ($n=1$), Braunschweig ($n=5$), Hamburgo ($n=4$), Hannover ($n=4$), Gelsenkirchen ($n=1$), Helmstedt ($n=1$), Leverkusen ($n=1$), Magdeburg ($n=1$), Mannheim ($n=1$), Osnabrück ($n=1$) e Wolfsburg ($n=1$). Eles se situam entre 48° e 53° de latitude norte e 6° e 15° de longitude leste (vide Figura 1).

A partir da consideração de critérios de classificação internacionais, é possível discernir entre estratégias empregadas na ventilação e na climatização. Os edifícios analisados diferenciam-se em três categorias ou tipos:

- (a) tipo 1 (quantidade de edifícios avaliados, $n=8$);
- (b) tipo 2 ($n=14$); e
- (c) tipo 3 ($n=8$).

Os tipos são descritos a seguir.

Edifícios sem climatização

Neste trabalho edifícios sem climatização classificam-se em Tipo 1, T1. Possuem somente ventilação natural e estão equipados para atender às exigências de aquecimento no período de inverno (janelas de abertura manual, aquecedor, radiador). Esse tipo de edifício é conhecido como *free running building* ou *natural ventilated building* (ASHRAE..., 2004; NICOL; HUMPHREYS, 2005).

Edifícios com climatização parcial

Os edifícios com climatização parcial classificam-se como Tipo 2, T2. Possuem aquecimento e ventilação em alguns setores do edifício, somente com recuperação térmica (recirculação do ar tratado). Caracterizam-se por dispor de superfícies radiantes para aquecimento/resfriamento em combinação com radiadores (FISCH; PLESSER; BREMER, 2007). Para ventilação, possuem sistemas mecânicos centrais ou descentralizados (em fachada) de baixo consumo e janelas de abertura manual. Em relação a edifícios abordados por outros autores, essa classificação é intermediária entre os *free running building* e os *air conditioning building* (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997; NICOL; HUMPHREYS, 2005). No caso de controle dos usuários sobre o clima interior, são mais parecidos com o tipo *Alpha-building* (elevado controle do usuário sobre o

ambiente térmico) que com o *Beta-building* (baixo controle do usuário sobre o ambiente térmico) (VAN DEN LINDEN *et al.*, 2006).

Edifícios com climatização total

Os edifícios com climatização total classificam-se como Tipo 3, T3. Nesses edifícios a ventilação natural fica restrita a um sistema mecânico de ventilação e acondicionamento do ar de alto rendimento, com retroalimentação mediante superfícies radiantes para frio/calor. Em sua maioria não possuem janelas de abertura manual, de maneira que se incrementa o volume de ar a renovar para manter as exigências de qualidade do ar. Possuem equipamentos de controle de umidade e potências suficientes para modificar rapidamente as condições ambientais. Essa flexibilidade implica grandes investimentos em instalação e um elevado custo de manutenção, para garantir condições térmicas constantes durante o ano (FISCH; PLESSER; BREMER, 2007; GONZALO *et al.*, 2007). Segundo De Dear, Brager e Cooper (1997), Nicol e Humphreys (2005) e Van den Linden *et al.* (2006), os edifícios do Tipo 3 com janelas de abertura manual não se diferenciam dos do Tipo 2. Por possuir janelas fixas, eles são conhecidos como *air conditioning building* (ASHRAE..., 2004; NICOL; HUMPHREYS, 2005). Em função do controle dos usuários sobre o clima interior, são classificados como *Beta-building* (VAN DEN LINDEN *et al.*, 2006).

Medições

Um equipamento de medição móvel (Mobile LAB, vide Figura 2) permite deslocar o instrumental (sensores) a cada local de trabalho dentro do edifício para medir os parâmetros ambientais interiores. A medição desenvolve-se em três etapas:

- (a) a primeira, durante a manhã, até as 12h00;
- (b) a segunda, ao meio-dia, entre 12h00 e 14h00; e
- (c) a terceira, pela tarde, a partir das 14h00.

Isso permite obter os parâmetros de conforto térmico de cada espaço selecionado ao longo de uma jornada de medição. Mede-se com sensores de alta precisão, com tempos de resposta e exatidão, de acordo com a norma DIN EN ISO 7726 (DEUTSCHES..., 2002). O intervalo de medição é de 1 min. A unidade móvel está equipada com sensores de temperatura do ar (t_a), temperatura operativa (t_{op}), temperatura do ponto de orvalho (t_{dew}), assimetria de radiação (Δt_{pr}) e velocidade do ar (v_a) (Figura 2).

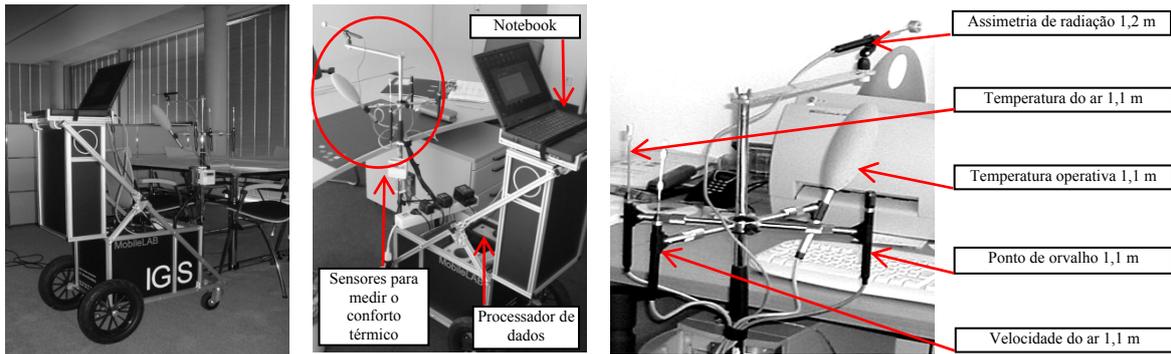


Figura 2 - “Mobile LAB”, unidade móvel de medição com sensores para medir os parâmetros de conforto térmico de cada lugar de trabalho

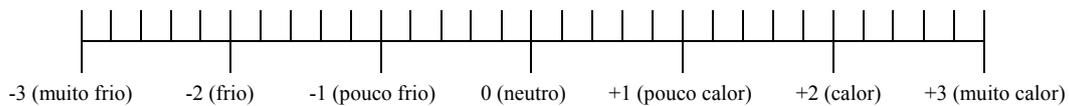


Figura 3 - Escala de 7 pontos de ASHRAE para o voto de sensação térmica

Do questionário, o voto PV, *Preference Vote* (voto de preferência térmica), permite encontrar um índice de insatisfação térmica em termos percentuais. O usuário expõe sua preferência térmica sobre uma escala de 3 pontos, de acordo com escalas definidas na norma DIN EN ISO 10551 (2002), na qual expressa a condição térmica que prefere em relação à atual, que possui no momento da medição. A preferência térmica serve de complemento ao CV e obtém-se da resposta ao enunciado “Prefiro um ambiente térmico:”, com os seguintes valores: -1 (mais fresco), 0 (nem mais fresco, nem mais quente = conforto) e +1 (mais quente) – sem poder eleger valores intermediários.

Estado da arte do índice de conforto térmico

O modelo de Fanger (FANGER, 1970) baseia-se em um experimento com pessoas em uma câmara climática controlada, variando a temperatura operativa e mantendo constantes os parâmetros que influem na sensação térmica ($v_a < 0,1$ m/s e RH = 50%). Os respondentes (n ≈ 1300) são jovens estudantes que possuem níveis de isolamento da roupa de 0,6 clo (**clothing**) e que têm uma atividade metabólica do tipo sedentária (trabalho de escritório), de 1,2 met (**metabolic equivalent of task**). Dentro da câmara climática, fazem uma avaliação subjetiva sobre a sensação térmica, através do voto de conforto CV, sobre a escala de 7 pontos de ASHRAE. O desenvolvimento do índice de voto médio estimado ou predito de sensação térmica, PMV (*Predicted Mean Vote*), variável em função dos parâmetros do conforto térmico, permite elaborar um índice de predição do percentual de insatisfeitos conhecido como índice

PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), que depende do índice PMV. De acordo com o modelo, quando PMV = 0 (sensação térmica neutra), determina-se um mínimo possível de insatisfeitos de 5% (vide Figura 9). Esses valores são adotados pela norma internacional ISO 7730 e pela norma norte-americana ASHRAE 55. O índice PPD é definido pela seguinte Equação 1:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad [\%] \text{ Eq. 1}$$

Outros pesquisadores contestam a teoria de Fanger, já que estudos feitos na câmara climática encontram desvios entre o voto de sensação térmica CV que informam os respondentes e o índice PMV (PARSONS, 2002). Em Araújo e Araújo (1999) realizou-se um extenso trabalho de campo em edifícios com ventilação natural no Brasil. Os respondentes (n = 1.866) são estudantes que possuem níveis de isolamento da roupa de 0,6 clo e que têm um voto de conforto CV que difere de outros estudos. Em seus estudos encontra-se um percentual mínimo de insatisfeitos de 47%, quando o PMV = 0 (vide Figura 9), de acordo com a Equação 2:

$$PPD = 100 - 52,5 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad [\%] \text{ Eq. 2}$$

Em uma câmara controlada, Mayer (1998) realizou um estudo com 100 pessoas e corrigiu o modelo de Fanger. Define um percentual mínimo de insatisfeitos de 16%, quando PMV = +0,5 (vide Equação 3).

$$PPD = 100 - 84,3 \cdot e^{[0,01(PMV-0,4)^4 + 0,5479(PMV-0,4)^2]} \quad [\%] \text{ Eq. 3}$$

Yoon, Sohn e Cho (1999) realizaram estudos com 40 estudantes, no verão, em uma câmara climática

controlada na Coreia. Os respondentes possuíam níveis de isolamento da roupa de 0,4 clo, um nível de atividade de 1,2 met e havia um percentual mínimo de insatisfeitos de 18% quando $PMV = -0,8$ (vide Figura 9). Com isso se estima que os usuários preferiam temperaturas mais baixas que as que propõe o modelo de Fanger (vide Equação 4).

$$PPD = 11,37 \cdot PMV^2 + 18,34 \cdot PMV + 24,42 \quad [\%] \text{ Eq. 4}$$

Xavier, Lamberts e Volpato (2000) realizaram um estudo de campo em escolas, em Florianópolis, S.C., Brasil. Os respondentes ($n = 1.400$) deram o voto CV, que resulta em um índice de sensação térmica identificado como “S” (Sensação térmica, vide Equação 5, que se baseia em um modelo de regressão linear múltipla e que se obtém da correlação entre os parâmetros de conforto térmico da medição. Relacionando as condições ambientais de medição com os valores subjetivos da escala de 7 pontos de ASHRAE, define-se um índice de porcentagem de insatisfeitos identificado como “I” (Insatisfeitos). Assim, encontrou-se um percentual mínimo de insatisfeitos de 21,1% quando o voto de sensação térmica $CV = 0$ (vide Figura 9 e Equação 6). Huizenga *et al.* (2006), com base em uma grande quantidade de estudos, chegaram à conclusão de que a porcentagem mínima de insatisfeitos pode estar acima de 40%.

$$S = 0,2141t_{op} + 0,0114RH - 0,1685v_a - 5,7114 \quad [-] \text{ Eq. 5}$$

$$I = 100 - 78,89 \cdot \exp^{(0,0212 \cdot S^4 - 0,4923 \cdot S^2)} \quad [\%] \text{ Eq. 6}$$

Todos esses trabalhos definem desvios dos valores de índice obtidos por Fanger. Com esses e outros trabalhos é possível unificar a ideia sobre a escala de 7 pontos de ASHRAE, que, além de representar uma escala de valor para expressar a sensação térmica, também constitui uma escala de temperatura que terá, necessariamente, um significado diferente para cada usuário respondente.

Análise de resultados

Temperatura operativa, t_{op}

A temperatura operativa é um parâmetro integrado que combina a temperatura do ar (t_a) e a temperatura radiante média (t_r) sob certas condições de movimento do ar (v_a) e afeta globalmente a percepção do usuário sobre o ambiente térmico; portanto, utiliza-se como parâmetro na avaliação do conforto térmico de espaços interiores.

Apresenta-se na Figura 4 a distribuição da temperatura operativa no inverno (quantidade de

medições, $n = 345$), no período transitório ($n = 457$) e no verão ($n = 546$), independentemente das estratégias de ventilação e climatização. Além disso, representam-se o valor médio e o desvio padrão de cada período. O desvio padrão (σ) é um indicador da dispersão dos dados coletados e representa o intervalo que se encontra perto de 70% dos dados de medição, ou seja, a zona mais representativa da amostra.

As condições ambientais interiores variam em função das estações do ano. A temperatura operativa interior no inverno chega a um valor médio de 22,7 °C; com $\sigma = 1,1$. O valor máximo do período chega a 25,6 °C e o mínimo de 18,4 °C (vide Figura 5). No período transitório, t_{op} chega a um valor médio de 23,5 °C, com $\sigma = 1,2$ e valores extremos máx. 28,5 °C e mín. 20,0 °C, com o que se percebe maior troca de calor entre os ambientes interior e exterior, sobretudo a partir da abertura de janelas (KUCHEN, 2008).

No verão intensifica-se essa troca, com um valor médio de t_{op} que aumenta a 25,3 °C, com $\sigma = 1,8$, máx. 31,9 °C e mín. 21,0 °C. As grandes oscilações de t_{op} no verão dão-se fundamentalmente em espaços dos edifícios T1, podendo afetar o conforto térmico nesses espaços. Essa situação e, sobretudo, as notáveis oscilações de temperatura operativa que se observam durante o período transitório e de verão exigem uma análise detalhada do voto de sensação térmica (KUCHEN, 2008).

Voto de sensação térmica, CV

Neste trabalho de campo são consultados 1.100 usuários (votos) sobre a sensação térmica em 30 edifícios de escritório. A observação da variação das temperaturas operativas de medição e o voto de conforto dos questionários constituem o ponto de partida para a avaliação da comodidade térmica em espaços reais de trabalho. A opinião subjetiva dos usuários permite encontrar intervalos em que t_{op} pode-se perceber como confortável (sensação térmica neutra), elevada (sensação de calor) ou baixa (sensação de frio).

Apresenta-se na Figura 5 o voto médio de sensação térmica das tipologias analisadas em relação aos valores médios de temperatura operativa. Observa-se que os edifícios T1 sofrem as maiores oscilações anuais de temperatura operativa e de sensação térmica. No período de verão a média de t_{op} nos edifícios T1 chega a 26,8 °C, com $\sigma = 1,9$, e o voto médio de sensação térmica é definido dentro da zona de calor, com um valor de 1,20 e $\sigma = 1$ sobre a escala de ASHRAE; e no inverno, t_{op} decresce a 22,1 °C, com $\sigma = 1,2$, e o voto médio de conforto baixa a -0,13, com $\sigma = 0,9$.

Em contrapartida, os edifícios T2 e T3 mostram condições térmicas anuais menos variáveis, e o voto médio de conforto concentra-se em torno da zona neutra ($CV \approx 0$), minimamente deslocada sobre a zona de sensação de calor. O leve incremento da temperatura operativa nesses dois tipos de edifícios no verão encontra-se muito abaixo do valor encontrado em T1. As baixas variações em T2 e T3 tornam difícil determinar até que ponto os usuários aceitam as condições térmicas, ou se preferem um ambiente mais frio ou mais quente do que aquele que possuem. Isso exige que se considere a relação entre o voto de preferência térmica e os valores de temperatura operativa de medição.

O desvio padrão que se obtém nos tipos de edifícios analisados permite fortalecer a hipótese

de McIntyre (1978), que indica que em estudos de campo o desvio médio deve oscilar entre ± 1 . Sobre o eixo "x" da 0 mostra-se o grau de significância estatística da população analisada. Em todos os casos supera-se o valor de 99% de confiança, com exceção de T3 no inverno, quando só se atinge o valor de 85% de confiança ($p < 0,14$).

Voto de preferência térmica, PV

Neste trabalho de campo são consultados 528 usuários sobre sua preferência térmica em edifícios de escritório. A informação do voto de preferência PV é complementar à que se obtém do voto de conforto CV, já que permite fixar os intervalos da aceitação térmica de forma claramente definida (DE DEAR; BRAGER, 2001).

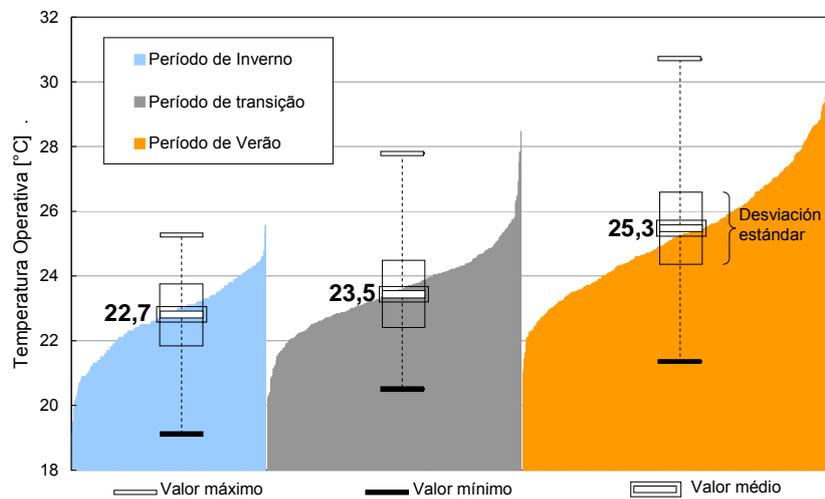


Figura 4 - Temperatura operativa de medição nas diferentes estações do ano

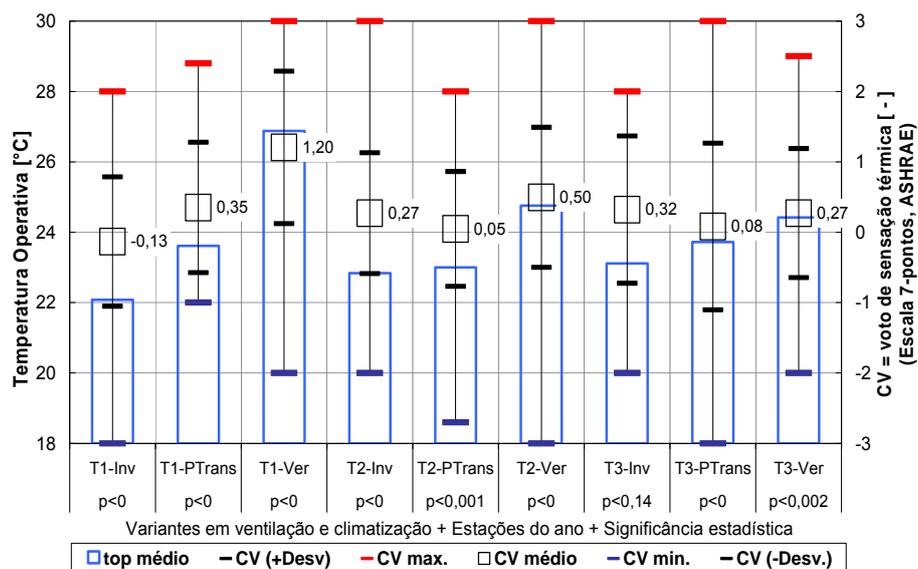


Figura 5 - Relação entre o voto de sensação térmica e o valor médio da temperatura operativa de medição, em função das estações do ano e diferentes sistemas de ventilação e climatização

Tabela 1 - Relação entre os valores médios e de desvio padrão (σ) da temperatura de preferência no período transitório e de verão

Tipo de edifício	Período transitório			Período de verão		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Número de edifícios	4	6	4	6	9	4
Preferência [°C] e desvio padrão (σ)	23,2; $\sigma = 0,6$	22,9; $\sigma = 0,9$	23,2; $\sigma = 0,5$	24,4; $\sigma = 0,8$	24,4; $\sigma = 0,6$	23,7; $\sigma = 0,7$

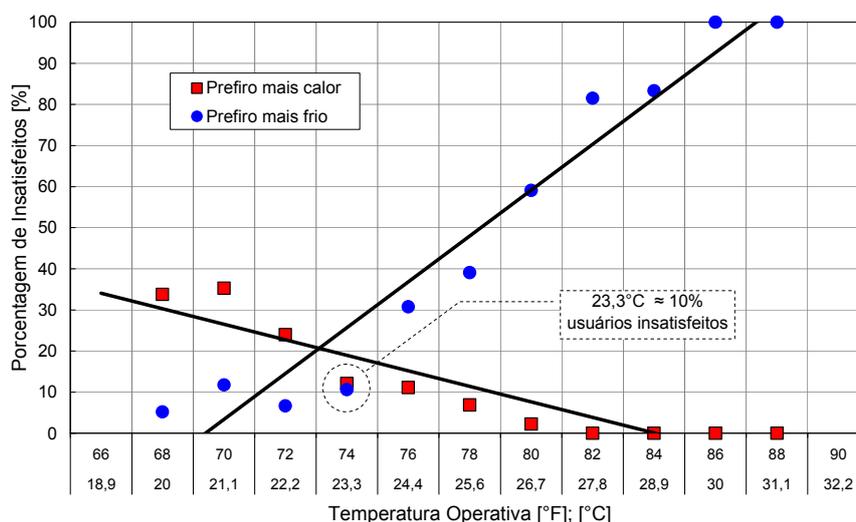


Figura 6 - Porcentagem de insatisfeitos por condições térmicas de frio ou calor a respeito da temperatura operativa, segundo Kuchen (2008)

A Tabela 1 mostra os valores de temperatura desejada em cada tipo de edifício e a quantidade de edifícios analisados no verão e no período transitório. No verão a temperatura desejada é de 1 K mais elevada que no período transitório. Em espaços dos edifícios T3 observam-se diferenças mínimas ($< \pm 0,5$ K). No verão a temperatura desejada nos edifícios T1 e T2 é 0,7 K mais elevada que em T3, o que se constitui num indício de adaptação dos usuários ao ambiente local. No período transitório observam-se mínimas diferenças entre os tipos de edifícios analisados ($\approx 0,3$ K).

Apresenta-se na Figura 6 a distribuição de votos de preferência de usuários consultados por meio da escala de 3 pontos, no período transitório e no verão, e somente aqueles que durante a medição demonstraram insatisfação térmica ($PV \neq 0$), preferindo um ambiente mais quente ($PV = +1$; curva decrescente) ou mais frio ($PV = -1$; curva crescente). Sobre o eixo "x" da Figura 7 expressa-se a temperatura operativa em classes a cada 2 °F e seu equivalente em graus Celsius. A Figura 6 mostra que do percentual mínimo de usuários insatisfeitos com o ambiente térmico por frio ou calor obtém-se a $t_{op} = 23,3$ °C. O ponto de interseção entre ambas as retas de regressão é um

"indício" da condição de máximo conforto térmico e constitui um indicador de conforto térmico para locais de trabalho. Todos os valores de análise na Figura 6 superam 99% de confiança.

O intervalo de aceitação térmica poderia ser estimado com base em deduções sobre o modelo de conforto proposto por Fanger, que define que os usuários satisfeitos com o ambiente térmico votariam $CV = \pm 1$ e os que preferem um ambiente térmico mais frio ou mais quente do que o que possuem votariam acima de +1 e abaixo de -1 respectivamente sobre a escala de 7 pontos de ASHRAE. Esse critério é adotado pela norma ISO 7730 (ISO, 2005) e por outras nas quais se baseiam alguns de seus fundamentos sobre esta última (ASHRAE..., 2004; INSTITUUT..., 2004).

Dados relevantes

Mediante o questionário realizado neste trabalho de campo (KUCHEN, 2008), levam-se em consideração aspectos fisiológicos do usuário, como o nível de atividade metabólica, e físicos, como o nível de isolamento da roupa. A atividade metabólica de pessoas que realizam trabalho de escritório não apresenta variações anuais significativas, com um valor médio de

1,48 ± 0,27 met em mulheres (n = 418) e de 1,49 ± 0,26 met em homens (n = 472). Destaca-se que ambos os valores superam de forma notável o valor de 1,2 met definido para trabalhos de escritório de acordo com a norma ISO 7730 (ISO, 2005). O nível de isolamento da roupa do usuário não apresenta variações entre sexos, sendo de 0,83 ± 0,27 clo em mulheres e de 0,81 ± 0,25 clo em homens. É notável a variação anual entre o período de inverno, 1,1 clo, e o período de verão, 0,65 clo, e a boa correlação que se encontra com os valores de temperatura operativa de medição ($r = -0,45$), cuja dependência se mostra na Equação 7.

$$clo_{anual} = 2,35 - t_{op} \cdot 0,06 \quad [clo] \quad \text{Eq. 7}$$

A medição e o questionário simultâneos permitem detectar a ocorrência de outros parâmetros de influência sobre o conforto térmico e sua avaliação por parte do usuário. Por exemplo, a velocidade do ar (v_a) é qualificada de desagradável no inverno, com valores de $v_a = 0,04 \pm 0,03$ m/s, e como agradável no verão, com valores de $v_a = 0,07 \pm 0,06$ m/s. Com relação à umidade relativa (RH), que varia entre $RH = 27,2 \pm 5,4\%$, no inverno, e $RH = 49,6 \pm 7,9\%$, no verão, obtém-se uma sensação média geral de “um pouco seco” (KUCHEN, 2008).

Avaliação

Aceitação e neutralidade térmica

Para a avaliação do conforto térmico, comparam-se os resultados da medição com os resultados dos questionários através de uma análise de regressão de mínimos quadrados. Isso permite definir uma função objetiva e descrever o comportamento e a inter-relação de variáveis. Vários autores afirmam que essa análise constitui um método apropriado para o desenvolvimento de um modelo de conforto (FANGER, 1970; AULICIEMS, 1981; SCHILLER *et al.*, 1988; DE DEAR; BRAGER, 2001; NICOL; RAJA, 1997).

Analisando a temperatura operativa *versus* o voto médio de sensação térmica (t_{op} , CV), é possível observar diferenças entre os sistemas de ventilação e climatização analisados, que merecem ser expostas (vide síntese na Tabela 2).

A inclinação das retas de regressão dadas pela constante “b” (vide Figura 7), encontradas para $T1 = +0,52$, $T2 = +0,69$ e $T3 = +0,78$, e sua interseção com os valores ± 1 sobre a escala de ASHRAE no eixo “y” permitem encontrar intervalos de temperatura operativa limitados entre os significados “um pouco frio” e “um pouco calor” (CV = ± 1). Esses intervalos iniciam-se entre 21,4 °C e 22,0 °C e terminam entre 24,6 °C e 25,3 °C, e constituem uma evidência sobre a aceitação térmica e o nível de adaptação dos usuários. A constante “a” representa o valor da variável independente “y”, quando “x” é igual a zero.

Tabela 2 - Análise de regressão linear entre a temperatura operativa de medição e o voto de sensação térmica, para os diferentes sistemas de ventilação e climatização

	T1	T2	T3
Quantidade de edifícios (n)	8	14	8
Quantidade de medições (n)	278	498	326
Temperatura operativa [°C]	24,4 °C; $\sigma = 2,7$	23,8 °C; $\sigma = 1,3$	23,7 °C; $\sigma = 1$
Voto de sensação térmica [-]	+0,62 ; $\sigma = 0,88$	+0,38 ; $\sigma = 0,51$	+0,20 ; $\sigma = 0,55$
Inclinação da reta “b”	+0,52 ; $\sigma = 0,21$	+0,69 ; $\sigma = 0,37$	+0,78 ; $\sigma = 0,34$
Ordenada a origem “a”	-12,1 ; $\sigma = 5,2$	-16,0 ; $\sigma = 8,6$	-18,2 ; $\sigma = 7,4$
Coefficiente de correlação (r)	+0,47	+0,48	+0,54

Nota: valores médios e desvio padrão.

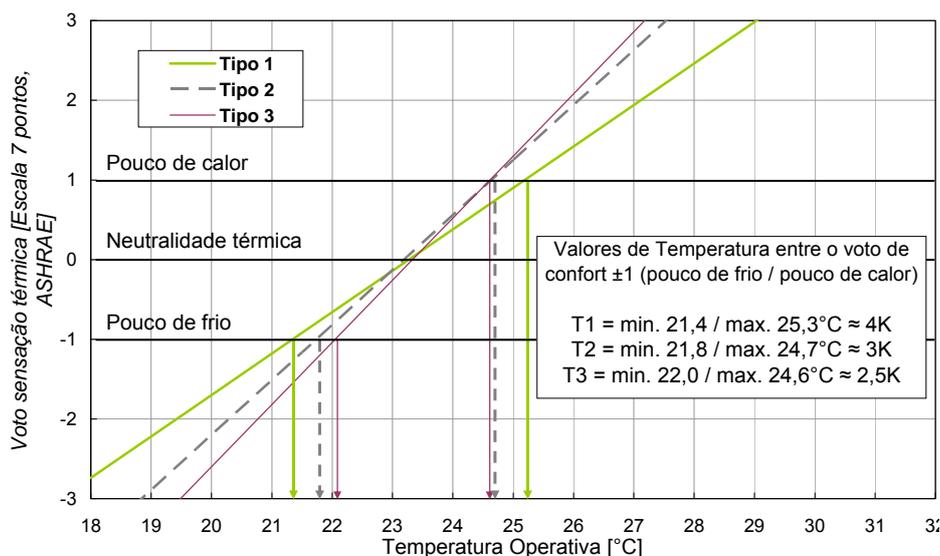


Figura 7 - Modelo de regressão linear entre a temperatura operativa e o voto médio de sensação térmica em função das variáveis de ventilação e climatização

Um mesmo valor de temperatura não tem o mesmo significado para cada um dos tipos de edifícios analisados. A maior amplitude de intervalo de aceitação de t_{op} observa-se em espaços T1, com valor mínimo de 21,4 °C e máximo de 25,3 °C, o que é indicio de que esses usuários se adaptam melhor a grandes amplitudes térmicas (vide Figura 7).

Cabe lembrar que as diferenças entre as inclinações de cada reta de regressão são inferiores ao esperado. Provavelmente, o intervalo estreito de t_{op} nas variantes T2 e T3 ao longo do período anual reduza a relevância das retas de regressão encontradas. Estudos realizados em espaços reais de trabalho em climas quentes mostram inclinações “b” que variam entre +0,31 e +0,38 (SCHILLER *et al.*, 1988). A diferença com as inclinações obtidas neste trabalho é indicio de um nível de adaptação dos usuários ao clima centro-europeu, ou seja, a menores amplitudes térmicas.

A correlação r , coeficiente de Pearson, que se obtém de t_{op} , CV, nos tipos de edifício T1 = +0,47, T2 = +0,48 e T3 = +0,54 neste trabalho ressalta a importância que tem a influência de uma população tão extensa de usuários consultados (1.100 votos), com características físicas, psicológicas e fisiológicas diferentes em relação à percepção da temperatura (YE *et al.*, 2006). Em experimentos em câmara climática como as que desenvolve Fanger, alcançam-se coeficientes de correlação r que oscilam entre +0,70 e +0,85, enquanto em estudos de campo, entre +0,30 e +0,55 (FANGER, 1970; AULICIEMS, 1981).

Os usuários de espaços com condições térmicas constantes ao longo de um período experimentam

uma adaptação contínua, independentemente do clima exterior, e chegam a aceitar condições térmicas que lhes são impostas ainda quando o índice PMV que propõe a norma ISO 7730 (ISO, 2005) indique que as condições térmicas não são boas (KUCHEN; FISCH, 2009).

Isso mostra que os usuários de espaços T3 (com climatização total) aceitam intervalos mais estreitos e mínimos desvios de temperatura operativa e preferem condições térmicas quase constantes (vide Tabela 1). Cabe destacar que, quanto mais estreito se mantém o intervalo de temperatura operativa e mínimos sejam os desvios estacionais desse parâmetro, maiores serão as expectativas dos usuários sobre o conforto térmico (HELLWIG, 2005; DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997; KUCHEN, 2008).

O conceito de neutralidade térmica serve para expressar os estados físico, psicológico e fisiológico em que o usuário percebe o ambiente térmico agradável, não sente frio, nem calor, e emite um voto CV = 0 (zero) na escala de 7 pontos de ASHRAE. Considera-se que, quando CV = 0, então t_{op} = temperatura de neutralidade (t_n), é possível calcular um valor de t_n para cada caso de estudo (GRIFFITHS, 1990; KUCHEN; FISCH, 2009).

Os valores de temperatura operativa que se leem na interseção da reta de regressão com o eixo “y” = 0, na Figura 7 (voto de sensação térmica CV = 0), alcançam um valor de t_{op} de 23,2 °C em espaços T1 e T2, e em T3 é de 23,3 °C. O conceito de neutralidade está diretamente relacionado com o de preferência térmica. A partir da comparação da Figura 7 com a Figura 8, sugere-se a existência de

uma zona de conforto, onde a insatisfação térmica chega a ser mínima.

Desenvolvimento do modelo de conforto

O modelo de predição do conforto térmico proposto neste trabalho difere do proposto em normas internacionais (ISO, 2005; ASHRAE..., 2004) e de outros autores (vide Estudo da arte do índice de conforto térmico), já que permite introduzir duas variáveis locais que definem a condição de conforto térmico: a variável 1, o valor de temperatura de neutralidade de cálculo (t_n), ao considerar o voto de conforto dos usuários; e a variável 2, o valor de temperatura operativa de medição (t_{op}).

Considerando os aspectos de relevância que mencionam outros autores e o significado que possa ter a escala de 7 pontos de ASHRAE, faz-se uma análise entre a informação que transmite o voto de sensação e preferência térmica e os valores de temperatura operativa medidos.

A Figura 6 mostra as retas de regressão que são obtidas ao relacionar a porcentagem de insatisfeitos por frio ou calor com a temperatura operativa medida. Para a comparação com o modelo de Fanger, é feita uma análise de probabilidade entre a porcentagem de insatisfeitos e os valores de temperatura operativa medidos, mediante a aplicação do software “Mathematica”. Isso permite desenhar uma curva de regressão semelhante a uma distribuição gaussiana invertida, onde o mínimo da curva coincide com o percentual mínimo de insatisfeitos com relação ao ambiente térmico e ao valor de temperatura de neutralidade.

Na Figura 9 sobrepõe-se o modelo desenvolvido neste trabalho com a curva encontrada por Fanger (linha de traço descontínua). O valor de temperatura de neutralidade encontrado por Fanger é de 25,6 °C, e a porcentagem mínima de insatisfeitos é de 5% (FANGER, 1970).

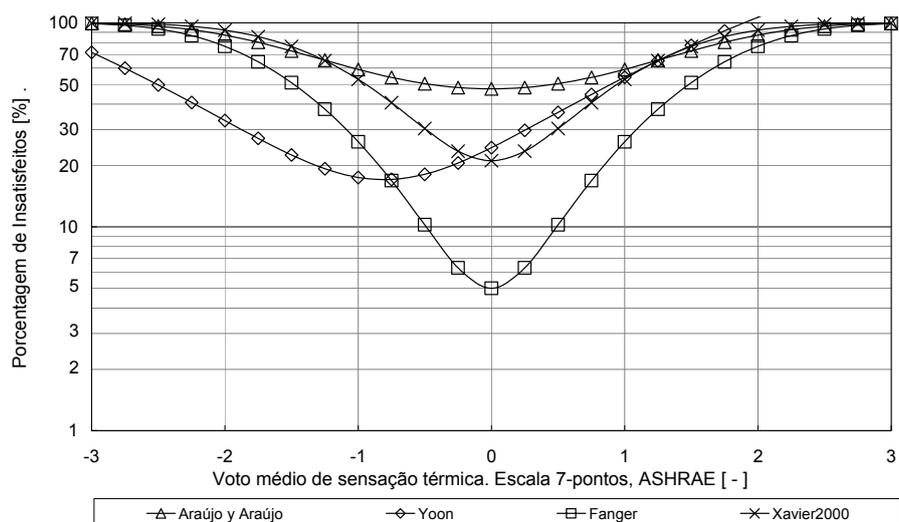


Figura 8 - Modelos de regressão não lineares encontrados em outros estudos para expressar o índice PPD em relação à escala de 7 pontos de ASHRAE

Nota: vide Araújo e Araújo (1999), Yoon *et al.* (1999), Fanger (1974) e Xavier, Lamberts e Volpato (2000).

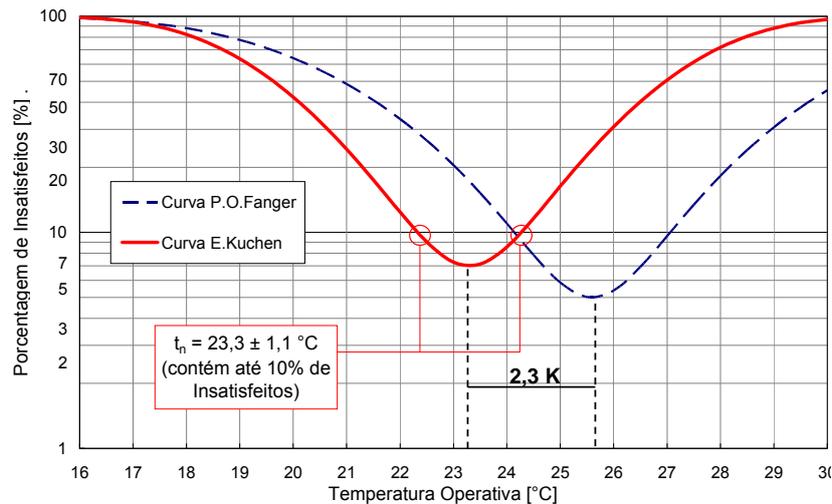


Figura 9 - Porcentagem de insatisfeitos em função da temperatura operativa de medição
 Nota: vide Fanger (1974) e Kuchen (2008).

Neste trabalho encontra-se uma temperatura de neutralidade 2,3 K mais baixa que a que encontra Fanger (vide Figura 10), e a porcentagem de insatisfeitos é de 7% a $t_{op} = 23,3$ °C. O 0 mostra que a porcentagem de insatisfeitos aumenta à medida que se aumenta ou diminui o valor de temperatura operativa de 23,3 °C, pelo qual é possível definir intervalos de aceitação térmica e um indicador percentual de conforto para cada intervalo. Ao observar a Figura 10, 10% dos insatisfeitos encontram-se dentro de um intervalo de t_{op} definido entre $23,3 \pm 1,1$ °C. O percentual de insatisfeitos é de 20%, enquanto a temperatura operativa não supere os 25,5 °C ou baixe de 21,5 °C. Um percentual de 35% dos insatisfeitos encontra-se em $23,3 \pm 3$ °C.

A Equação 8 representa a função da curva de regressão não linear que se mostra na Figura 10 e responde à análise de probabilidade desenvolvida neste trabalho. Essa equação calcula a porcentagem de insatisfeitos com o ambiente térmico em função de aspectos locais próprios do edifício e do usuário. Dessa maneira, consideram-se fatores que têm influência sobre o grau de adaptação térmica dos usuários, assim como diferenças climáticas estacionais, geográficas, culturais, entre outras, e conduz a uma otimização do funcionamento adequado de edifícios com diferenças nos sistemas de ventilação e climatização.

$$Insatisfeitos(Kuchen) = 100 - 93 \cdot \exp^{(-0,0009 \cdot (-t_n + t_{op})^4 - 0,034 \cdot (-t_n + t_{op})^2)}$$

t_n = temperatura de neutralidade
 t_{op} = temperatura operativa

Eq. 8

Ainda que Fanger advirta sobre a possibilidade de adaptação térmica dos usuários e a existência de

diferenças climáticas, geográficas, culturais, etc., a Equação 1, de predição do índice de conforto térmico que desenvolve, não admite variáveis. Deve-se usar o modelo de Fanger com muita cautela, já que pode ocasionar erros graves. O modelo de Fanger permitiria, talvez, definir o conforto em espaços com condições térmicas similares às que se tem em câmara climática, ou seja, em espaços T3.

Conclusões

A avaliação do conforto térmico mostra diferenças claras com o que se observa em outros estudos (vide Estado da arte di índice de conforto térmico). Destaca-se que a aceitação térmica dos usuários difere em espaços com diferenças na ventilação e climatização, como se observa na Figura 8. Outros valores como o nível de atividade metabólica e o isolamento da roupa, variáveis com respeito às normas (vide Equação 7), levam a concluir que o modelo de conforto deve conter variáveis próprias do entorno local.

A partir do modelo de conforto desenvolvido neste trabalho, destaca-se a importância de conhecer o voto de conforto e a necessidade de que o questionário e a medição sejam simultâneos, para se poder calcular a temperatura de neutralidade e definir a zona de conforto térmico.

A inclinação “b” das retas que se encontram na Figura 8, da análise de regressão entre a temperatura operativa e o voto médio de sensação térmica, é um indicador sobre a adaptação dos usuários ao clima local. Os usuários de espaços com ventilação natural experimentam um contato mais frequente com o exterior e são mais tolerantes a intervalos mais amplos de temperatura operativa.

Em contrapartida, os usuários de espaços com climatização total experimentam mínimas variações de temperatura e, por isso, são mais sensíveis a mudanças de temperatura. A percepção térmica dos usuários de espaços T3 é 1,5 vez mais sensível que em espaços T1. Em espaços T2 observa-se uma situação intermediária, em que os usuários são até 1,2 vez mais sensíveis que em T1. Os variados níveis de adaptação dos usuários não podem ser avaliados sob um mesmo critério e constituem um potencial na eficiência energética do funcionamento e no desempenho ambiental de edifícios com diferentes sistemas de ventilação e climatização.

A temperatura de preferência, além de coincidir conceitualmente com o valor de temperatura de neutralidade, indica o conforto térmico em porcentagem, descrevendo o forte significado, que pode ter uma variação de t_{op} em ± 1 °C sobre o percentual de aceitação térmica dos usuários e, com isso, estimar um possível consumo energético do edifício em função da adequação do *set-point* de temperatura.

A Equação 8 possibilita conhecer o índice de conforto térmico de um grupo de usuários, incorporando a temperatura operativa, t_{op} , e a temperatura de neutralidade, t_n , como variáveis. Isso constitui uma importante inovação, já que permite abordar o conforto térmico de espaços reais em prol do desenvolvimento de estratégias para a economia de energia em edifícios de escritório localizados em um clima centro-europeu.

Referências

- ARAÚJO, V. M. D.; ARAÚJO, E. H. S. The Applicability of ISO 7730 for the Assessment of the Thermal Conditions of Users of the Buildings in Natal-Brazil. In: INDOOR AIR, '99, Edingurgh, 1999. **Proceedings...** Edinburgh, 1999. v. 2, p. 148-153.
- ASHRAE STANDARD. **ASHRAE 55**: thermal environmental conditions for human occupancy, 2004.
- AULICIEMS, A. Effects of Weather on Indoor Thermal Comfort. **Biometeorology Journal**, v. 13, n. 2, p. 147-162, 1969.
- AULICIEMS, A. Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception. **Biometeorology Journal**, v. 25, n. 2, p. 109-122, 1981.
- AULICIEMS, A.; DE DEAR, R. Air Conditioning in a Tropical Climate: impacts upon european residents in Darwin, Australia. **Biometeorology Journal**, v. 30, n. 3, p. 259-282, 1986.
- BEDFORD, T. Environmental Warmth and Human Comfort. **British Journal and Applied Physics**, v. 1, n. 2, p. 33-38, 1950.
- BOESTRA, A. C. The Adaptive Thermal Comfort Criterion in the New EPBD IEQ Standard. In: **BBA Indoor Environmental Consultancy**, 2006.
- CENA, K.; DE DEAR, R. Field Study of Occupant Comfort and Office Thermal Environments in a Hot-Arid Climate. In: **Final Report ASHRAE RP-921**, dez. 1998.
- DE DEAR, R. Thermal Comfort in Practice. **Indoor Air Journal**, v. 14, suplemento 7, p. 32-39, 2004.
- DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. The Adaptive Model of Thermal Comfort and Energy Conservation in the Built Environment. **Biometeorology Journal**, v. 45, n. 2, p. 100-108, 2001.
- DE DEAR, R.; BRAGER, G. S.; COOPER D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. In: **Final Report ASHRAE RP-884**, 1997.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN ISO 7726**: Umgebunsklima, Instrumente zur Messung physikalischer Größen (ISO 7726:1998). Berlin, 2002.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN ISO 10551**: Ergonomie des Umgebunsklimas, Beurteilung des Einflusses des Umgebunsklima unter Anwendung subjektiver Bewertungsskalen. Berlin, 2002.
- FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. Technical University of Denmark, Laboratory of heating and Air Conditioning.
- FISCH, M. N.; PLESSER, S.; BREMER, C. **Evaluierung von Energiekonzepten für Bürogebäude**. Braunschweig, 2007. EVA Abschlussbericht.
- FRANK, W. **Raumklima und Thermische Behaglichkeit**. München: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, 1975.
- GONZALO, G. E. *et al.* **Diseño Bioclimático de Oficinas**: pautas para San Miguel de Tucumán. Tucumán: Edição do autor, 2007.
- GRIFFITHS I. **Thermal Comfort Studies in Buildings with Passive Solar Features: field studies**. Report to the Commission of the European Community, ENS35 090 UK, 1990.

- HELLWIG, R. T. **Thermische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei- und mechanischen belüfteten Bürogebäuden aus Nutzersicht.** 179 f. München, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia) - Technische Universität München, München, 2005.
- HELLWIG, R. T.; BISCHOF, W. Gültigkeit thermischer Behaglichkeitsmodelle. **Bauphysik Journal**, v. 28, n. 2, p. 131-136, 2006.
- HUIZENGA, C. *et al.* Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey. In: **HEALTHY BUILDINGS**, Lisbon, 2006. **Proceedings...** Lisbon, 2006. v. III, p. 393-397.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: ergonomics of the thermal environment, analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. 2005.
- INSTITUUT VOOR STUDIE EN STIMULERING VAN ONDERZOEK. **ISSO74**: Publication 74. Thermische behaaglijkheid - eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen, dutch thermal comfort guideline. Rotterdam, Holland, 2004.
- KUCHEN, E. **Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäude.** 203 f. Braunschweig, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia) - Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, 2008.
- KUCHEN, E.; FISCH, M. N. Spot Monitoring: Thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter. **Building and Environment Journal**, v. 44, n. 4, p. 839-847, abr. 2009.
- MAYER E. Ist die bisherige Zuordnung von PMV und PPD noch richtig? **Klimatechnik / Behaglichkeit. Ki Luft- und Kältetechnik Journal**, v. 54, p. 575-577, dez.1998.
- MCCARTNEY, K. J.; NICOL, J. F. Developing an Adaptive Control Algorithm for Europe: results of the SCATs Project. **Energy and Buildings Journal**, v. 34, n. 6, p. 623-635, 2002.
- MCINTYRE, D. A. Three Approaches to Thermal Comfort. **ASHRAE Transactions**, v. 84, n. 1, 1978.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. **Energy and Buildings Journal**, v. 34, n. 6, p. 563-572, 2002.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Maximum Temperatures in Buildings to Avoid Heat Discomfort. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT**, Santorini, Greece, 2005. **Proceedings...** Santorinim Greece, 2005.
- NICOL, J. F.; RAJA, I. A. Indoor Thermal Comfort: the Pakistan study. **Energy for Sustainable Development Journal**, v. 3, n. 5, p. 50-60, jan. 1997.
- PARSONS, K. C. The Effects of Gender, Acclimation State, the Opportunity to Adjust Clothing and Physical Disability on Requirements for Thermal Comfort; **Energy and Building Journal**, v. 34, n. 6, p. 593-599, jul. 2002.
- RAUE, A. K. *et al.* Buildings versus HVAC Buildings: a new dutch thermal comfort guideline. In: **AIVC CONFERENCE**, 25., Prague, Czech Republic, 2004. **Proceedings...** Prague, Czech Republic, 2004.
- SCHILLER, G. E. *et al.* A Field Study of Thermal Environments and Comfort in Office Buildings. Final Report ASHRAE RP-462. **ASHRAE Transactions**, Berkley, v. 94, n. 2, p. 280-308, 1988.
- VAN DEN LINDEN, A. C. *et al.* Adaptive Temperature Limits: a new guideline in The Netherlands. **Energy and Buildings Journal**, v. 38, n. 1, p. 8-17, jan. 2006.
- XAVIER, A. A. P.; LAMBERTS, R.; VOLPATO, C. G. Relacionamento Entre Sensações Térmicas e Percentagem de Pessoas Insatisfeitas Com o Ambiente em Estudos de Campo. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 6., Fortaleza, 2000. **Anais...** Salvador: Antac, 2000.
- YE, X. J. *et al.* Field Study of a Thermal Environmental and Adaptive Model in Shanghai. **Indoor Air Journal**, Singapore, v. 16, p. 320-326, mar. 2006.
- YOON D. W.; SOHN J. Y.; CHO K. H. The Comparison on the Thermal Comfort Sensation Between the Results of Questionnaire Survey and the Calculation of the PMV Values. In: RAW, G.; AIZLEWOOD, C.; WARREN, P. **INDOOR AIR '99**, Edinburgh, 1999. **Proceedings...** Edinburgh, 1999. v. 2, p.137-141.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a DAAD (Deutscher Akademischer Austausch Dienst), BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie), DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt), CONICET (Consejo Nacional de

Investigaciones Científicas y Técnicas) e ANPCyT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica), assim como ao Instituto IGS (Institut für Gebäude- und Solartechnik, TU-Braunschweig), à bolsista Arq. Cristiana Azevedo e à Eng. Alessandra Capitanio.

Revista Ambiente Construído
Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br