



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE DESCONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS DE ESCRITÓRIO

Ernesto Kuchen (1); M. Norbert Fisch (2); Guillermo E. Gonzalo (3); Graciela. N. Nozica (1)

(1) Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa) – Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño – Universidad Nacional de San Juan, Argentina – e-mail: ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar

(2) Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) – Fakultät für Architektur, Bauwesen und

Umweltwissenschaften – Technische Universität Braunschweig, Alemania – e-mail: prof.fisch@egsplan.de

(3) Instituto de Acondicionamiento Ambiental (IAA) – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de Tucumán, Argetina – e-mail: ggonzalo@herrera.unt.edu.ar

RESUMO

Padrões internacionais indicam quais são as exigências sobre conforto térmico que devem ser alcançados em espaços de escritórios. Estas se baseiam em um modelo desenvolvido pelo Prof. Paul Ole Fanger no Centre for Indoor Environment and Energy, Dinamarca. Hoje, 40 anos de pesquisa mostram uma evolução destes indicadores. O objetivo desse trabalho é obter uma ferramenta para prognóstico do índice de desconforto térmico. Para isso, é desenvolvido um método com base em medições e consulta de opiniões mediante o uso de uma unidade móvel equipada com sensores e um questionário sobre o ambiente térmico. Relevam-se as condições térmicas em 30 edifícios de escritórios com variações nos sistemas de climatização. A correlação entre os dados objetivos e subjetivos resulta em uma fórmula que indica o desconforto térmico em função de aspectos locais. Para os edifícios analisados a temperatura de conforto resultante é de 23,3°C e a porcentagem mínima de insatisfeitos, a essa temperatura, é de 7%.

Palavras chave: trabalho de campo; índice de desconforto térmico; temperatura de neutralidade; sensação térmica; preferência térmica

1 INTRODUÇÃO

A definição do índice de desconforto térmico de um espaço realiza-se mediante a aplicação do índice PPD, “Predicted Percentage of Dissatisfied” (Índice de predição da porcentagem previsível de insatisfeitos) proposto na norma (ISO 7730, 2005). Este é obtido sobre a base de um modelo matemático, desenvolvido por Fanger, a partir de experimentos com pessoas em uma câmara climática controlada, que relaciona o voto de sensação térmica com valores de medição da temperatura operativa (FANGER, 1970). O modelo responde a uma amostra reduzida de pessoas afetadas por um mesmo ambiente térmico pré- definido, ou seja, enquanto a temperatura operativa se faz variar 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 e fisiológicos das pessoas (isolamento da roupa e níveis de atividade) permanecem constantes.

Pesquisas realizadas em (KUCHEN; FISCH, 2009), indicam que os usuários manifestam que ainda em espaços com condições térmicas constantes são capazes de experimentar processos de adaptação, podendo aceitar condições térmicas que lhes são impostas pelo controlador do sistema de climatização. Outros autores afirmam 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 se mostra a combinação entre fatores climáticos e não climáticos e sua influência sobre o conforto térmico em espaços reais de trabalho. Vários autores (HELLWIG e BISCHOFF, 2006; BOESTRA, 2006; RAUE *et al.*, 2004; NICOL e HUMPHREYS, 2002; DE DEAR, 2004), sustentam que o emprego de normas como a ISO 7730 que se baseia no modelo de Fanger, possuem desvios que são próprios do método de obtenção do mesmo. Além disso, se vêem limitadas ao momento de contemplar uma visão holística do conforto e são úteis somente, enquanto as condições internas se mantenham relativamente constantes e dentro de intervalos curtos. Indicam adicionalmente, que a habilidade de adaptação dos usuários a diferentes ambientes térmicos, não se considera nos experimentos em câmara climática.

Neste trabalho científico, é desenvolvido um método com base em medições e questionários mediante o uso de uma unidade móvel equipada com sensores e um questionário sobre o ambiente térmico. Relevam-se as condições térmicas em 30 edifícios de escritórios em Alemanha, com variantes nos sistemas de climatização. Da correlação entre dados objetivos e subjetivos, definem-se critérios de neutralidade térmica (satisfação térmica), desenvolve-se um modelo para a predição do desconforto térmico, encontra-se uma fórmula que indica a cota de insatisfeitos em função de aspectos locais e se aporta uma metodologia para a elaboração de ferramentas de cálculo para profissionais da área, com o objetivo de abordar a monitoramento e a avaliação térmica de espaços reais de trabalho que conduzam à elaboração de indicadores de qualidade ambiental de edifícios.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é obter uma ferramenta para a avaliação de conforto térmico.

3 METODOLOGIA

O método apresentado neste trabalho científico baseia-se em medições e questionários simultâneos realizados mediante um trabalho de campo em 30 edifícios de escritórios, em Alemanha. As medições se realizam mediante o uso de uma unidade móvel equipada com sensores de alta precisão e as consultas, através de um questionário com perguntas sobre aspectos térmicos do espaço que, através de um voto, se traduz em dados em uma escala de valor (KUCHEN e FISCH, 2009; KUCHEN, 2008). 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.

3.1 Objeto de estudo

A base de dados para a análise compõe-se da informação obtida em 30 edifícios de escritórios, de não mais de 10 anos de antiguidade ou reformados em base a padrões internacionais referentes ao cuidado

da energia. Os edifícios estão afetados pelo clima centro-europeu e se localizam nas cidades alemãs de Berlín (quantidade de edifícios, $n = 9$), Bonn ($n = 1$), Braunschweig ($n = 5$), Hamburgo ($n = 4$), Hannover ($n = 4$), Gelsenkirchen ($n = 1$), Helmstedt ($n = 1$), Leverkusen ($n = 1$), Magdeburgo ($n = 1$), Mannheim ($n = 1$), Osnabrück ($n = 1$) e Wolfsburg ($n = 1$). Estes se situam entre os 48° e 53° de latitude norte e os 6° e 15° de longitude leste. Os edifícios se mostram na Figura 1.



Figura 1 - 30 edifícios de escritórios que se incluem neste trabalho de campo

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: Tipo 1, (quantidade de edifícios avaliados, n= 8), Tipo 2 (n=14) e Tipo 3 (n=8). Os tipos são descritos a seguir.

3.1.1 Edifícios sem climatização

Neste trabalho classificam-se em **Tipo 1, T1**. Possuem somente ventilação natural e estão aptos a atender as exigências de aquecimento e garantir a comodidade térmica no período de inverno (janelas operáveis, aquecedor, radiador). Este tipo de edifício é conhecido como “free running building” ou “natural ventilated building” (ASHRAE 55 2004; NICOL e HUMPHREYS, 2005).

3.1.2 Edifícios com climatização parcial

Classificam-se como **Tipo 2, T2**. Possuem aquecimento e ventilação de certos setores do edifício, sem tratamento do ar mais que uma recuperação térmica (recirculação do ar tratado). Caracterizam-se por dispor de superfícies radiantes para aquecimento/resfriamento em combinação com radiadores (FISCH *et al.*, 2007). Para ventilação, possuem sistemas mecânicos centrais ou descentralizados (em fachada) de baixo consumo e janelas operáveis. Em relação a edifícios abordados por outros autores, esta classificação, é intermediária entre os “free running building” e os “air conditioning building” (DE DEAR *et al.*, 1997; NICOL e HUMPHREYS, 2005). No caso de controle dos usuários sobre o clima

interior são mais parecidos ao tipo “Alpha-building” (elevado controle do usuário sobre o ambiente térmico) que ao “Beta-building” (baixo controle do usuário sobre o ambiente térmico). Ver (RAUE *et al.*, 2006).

3.1.3 Edifícios com climatização total

Estes edifícios classificam-se como **Tipo 3, T3**. Nesses edifícios a ventilação natural fica restringida 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 operáveis, 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 abordar rápidas modificações sobre os parâmetros climáticos. Esta flexibilidade implica grandes inversões em instalação e elevados custos de manutenção para garantir condições térmicas constantes durante o período anual (FISCH *et al.*, 2007; GONZALO *et al.*, 2007). Segundo (DE DEAR *et al.*, 1997; NICOL e HUMPHREYS, 2005; RAUE *et al.*, 2006), a variante Tipo 3 com janelas operáveis, não se diferencia da Tipo 2. De não possuir janelas operáveis, estes edifícios se conhecem como “air conditiong building” (ASHRAE 55, 2004; NICOL e HUMPHREYS, 2005). Em função do controle dos usuários sobre o clima interior são classificados como “Beta-building” (RAUE *et al.*, 2006).

3.2 Medição

Um equipamento de medição móvel (Mobile LAB, ver Figura 2) permite deslocar o instrumental (sensores) a cada local de trabalho dentro do edifício para medir os parâmetros climáticos. A medição se desenvolve em três etapas. A primeira durante a manhã até as 12:00 horas, a segunda ao meio-dia entre 12:00 e 14:00 horas e a terceira pela tarde a partir das 14:00 horas. Isto permite recolher os parâmetros climáticos interiores de cada espaço selecionado ao longo de uma jornada de medição. Mede-se com sensores de alta precisão, com tempos de resposta e exatidão que exige a norma (DIN EN ISO 7726, 2002). O intervalo de medição foi de um minuto. 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) (ver Figura 2).

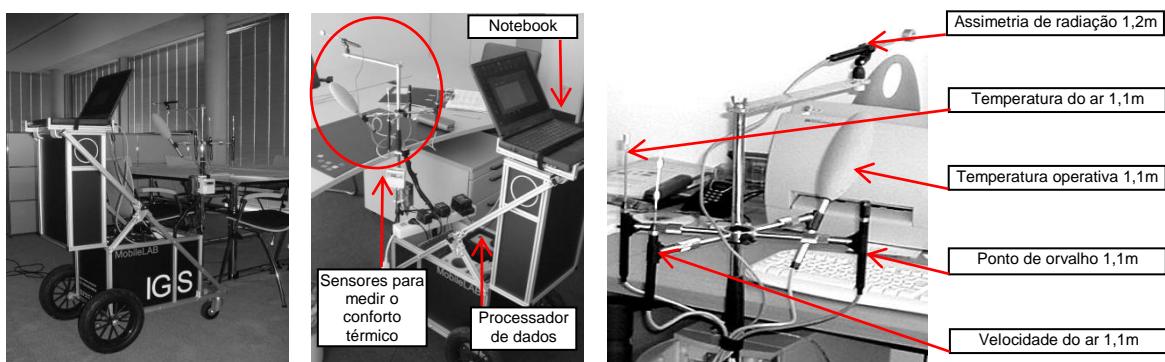


Figura 2 - “Mobile LAB” Unidade móvel de medição com sensores para medir os parâmetros climáticos de cada lugar de trabalho

Os dados de medição são recolhidos e transferidos a um processador notebook. Considera-se um usuário sentado trabalhando e por ele, o sensor de temperatura operativa e a maioria deles se posiciona a 1,1 m sobre o nível do piso. A medição começa logo após uma fase de aclimatação dos sensores (3 minutos) e dura um máximo de 5 minutos. Paralelamente o usuário responde o questionário (aprox. 10 min.). Prevêem-se 5 minutos adicionais para o translado do “Mobile LAB” dentro do edifício, de tal forma que é possível medir quatro locais em uma hora. A unidade móvel foi desenhada sobre a base dos requerimentos da norma ISO 7726 e a experiência recolhida em extensas pesquisas de campo (DE DEAR *et al.*, 1997; MCCARTNEY e NICOL, 2002; SCHILLER *et al.*, 1988).

3.3 Consulta de opinião

O questionário constitui uma medição do tipo subjetiva que contém o diagnóstico de informação do usuário padrão. É realizado simultaneamente ao levantamento dos parâmetros climáticos com sensores e tem como objetivo estabelecer comparações diretas e encontrar outras possíveis correlações. O

questionário utilizado possui perguntas referentes a aspectos psicológicos, fisiológicos e físicos do usuário a respeito do ambiente térmico ao seu redor (KUCHEN, 2008). Está elaborado sobre a base dos objetivos propostos e em relação a outros modelos padronizados utilizados em trabalhos de campo (CENA e DE DEAR, 1998; MCCARTNEY e NICOL, 2002; ASHRAE 55, 2004). Do questionário, o voto CV, “Comfort Vote” (voto de sensação térmica ou voto de conforto), se emite sobre uma escala de 7 pontos, originalmente definida por (BEDFORD, 1950), posteriormente redefinida por outros autores como escala de ASHRAE e verificada mediante escalas padronizadas da norma (EN ISO 10551, 2002). Sobre esta escala de dois pólos de desconforto, o usuário manifesta sua sensação térmica ao eleger os valores que vão desde **-3** (muito frio), **-2** (frio), **-1** (um pouco frio), **0** (neutro=conforto), **+1** (um pouco calor), **+2** (calor), até **+3** (muito calor) e com possibilidade de eleger valores intermediários (ver Figura 3). Segundo (AULICIEMS e DE DEAR, 1986), o uso da escala de ASHRAE permite obter resultados homogêneos. O voto CV permite encontrar uma zona termicamente aceitável.

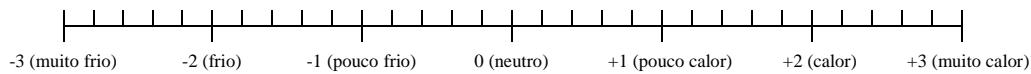


Figura 3 - Escala de 7-pontos de ASHRAE para o voto de sensação térmica

Do questionário, o voto PV, “Preference Vote” (voto de preferência térmica), permite encontrar uma cota ou índice de desconforto em termos porcentuais. O usuário expõe sua preferência térmica sobre uma escala de 3 pontos, verificada com escalas padronizadas da norma (EN ISO 10551, 2002), na qual expressa a condição térmica que prefere, sobre a atual que possui no momento da medição. A preferência térmica serve de complemento ao CV e se obtém da resposta ao enunciado: “Prefiro um ambiente térmico:”, com valores que vão de **-1** (mais fresco), **0** (nem mais fresco, nem mais quente = conforto), até **+1** (mais quente), sem poder eleger valores intermediários (ver Figura 4).

Mais fresco Nem mais fresco/ nem mais quente Mais quente

Figura 4 Escala de 3-pontos para emitir o voto de preferência sobre o ambiente térmico desejado.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Temperatura operativa, t_{op}

A temperatura operativa é um parâmetro integrado que permite encontrar a perda de calor do corpo humano (arrefecimento convectivo), se define como a temperatura uniforme de um ambiente radiante negro hipotético, onde um ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real. A temperatura operativa combina a inter-relação entre a temperatura do ar (t_a), 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, e portanto, se utiliza como parâmetro na avaliação do conforto térmico de espaços interiores.

Independentemente das estratégias de ventilação e climatização, o Gráfico 1, mostra a distribuição da temperatura operativa no inverno (quantidade de medições, $n = 345$), no período transitório ($n = 457$) e no verão ($n = 546$). Além disso, representa-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 onde se encontra perto de 70% dos dados de medição, ou seja, a zona mais representativa da amostra.

As condições climáticas interiores variam em função das estações do ano. A temperatura operativa interior no inverno chega a um valor médio de $22,7^{\circ}\text{C}$; com $\sigma = 1,1$. O valor máximo do período chega a $25,6^{\circ}\text{C}$ e o mínimo de $18,4^{\circ}\text{C}$ (Gráfico 1). No período transitório, t_{op} chega a um valor médio de $23,5^{\circ}\text{C}$; $\sigma = 1,2$; com valores extremos máx. $28,5$ / mín. $20,0^{\circ}\text{C}$, com o que se manifesta um maior intercâmbio térmico entre o clima interior e exterior, sobretudo a partir da abertura de janelas (KUCHEN, 2008).

No verão intensifica-se este intercâmbio, com um valor médio de t_{op} que se incrementa em $25,3^{\circ}\text{C}$; $\sigma = 1,8$; máx. $31,9$ / mín. $21,0^{\circ}\text{C}$. As grandes oscilações de t_{op} no verão se dão fundamentalmente em

espaços da variante T1, podendo afetar o conforto térmico nesses espaços. Esta situação e, sobretudo, as notáveis oscilações de temperatura operativa que se observam durante o período transitório e de verão, exigem uma análise caracterizada do voto de sensação térmica, em função das variantes de ventilação e climatização para poder conhecer o significado, cujas temperaturas, têm para os usuários (KUCHEN, 2008).

4.2 Voto de sensação térmica, CV

Neste trabalho de campo se recolhem 1100 consultas (votos) sobre a sensação térmica em 30 edifícios de escritórios. A observação de comportamento das temperaturas operativa 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 valorização subjetiva dos usuários permite encontrar intervalos em que t_{op} se pode perceber como confortável (sensação térmica neutra), elevada (sensação de calor) ou baixa (sensação de frio).

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

Em contraposição a isso, as variantes T2 e T3 manifestam condições térmicas anuais menos variáveis e o voto médio de conforto se centra em torno à zona neutra ($\text{CV} \approx 0$), minimamente deslocada sobre a zona de sensação de calor. O leve incremento da temperatura operativa nestas duas variantes no verão encontra-se muito abaixo do valor encontrado na variante T1. As baixas flutuações nas variantes T2 e T3 fazem que seja difícil determinar até que ponto, os usuários aceitam as condições térmicas ou preferem um ambiente mais fresco ou mais quente que o 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 nas variantes analisadas, permite fortalecer a hipótese de McIntyre, que indica que em estudos de campo, o desvio médio deve oscilar entre ± 1 (MCINTYRE, 1978). Sobre o eixo-x do Gráfico 1 mostra-se o grau de significância estatística da população analisada. Em todos os casos se supera o 99% de confiança, com exceção da variante T3 no inverno, aonde só chegam a um 85% de confiança ($p<0,14$).

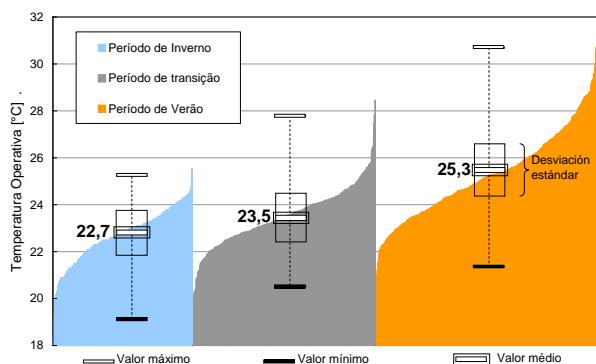


Gráfico 1 a - Temperatura operativa de medição nas diferentes estações do ano

Figura 5 - XXXX

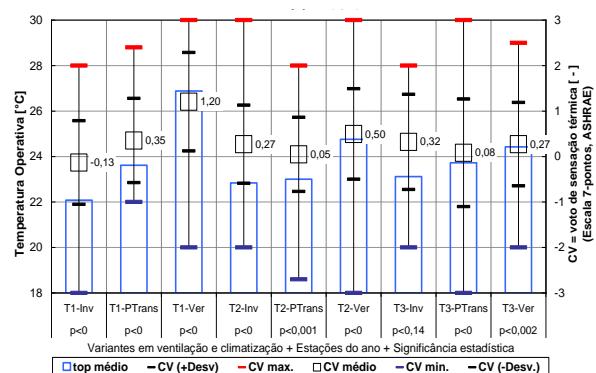


Gráfico 1 b - Relação entre o voto de sensação térmica e o valor médio da temperatura operativa de medição, em função das estações do ano e as variantes de ventilação e climatização

4.3 Voto de preferência térmica, PV

Neste trabalho de campo se recolhem 528 consultas sobre a preferência térmica em edifícios de escritório. A informação que aporta o voto de preferência PV é complementar à que se obtém do voto de conforto CV, já que permite fixar os intervalos da aceitação térmica claramente definidos (DE DEAR e BRAGER, 2001).

A Tabela 1 mostra os valores de temperatura desejada de cada variante e a quantidade de edifícios analisados no verão e no período transitório. No verão a temperatura desejada é de 1K (Kelvin) mais

elevada que no período transitório. Em espaços da variante T3 observam-se mínimas diferenças estacionais ($<\pm 0,5\text{K}$). No verão, a temperatura desejada em espaços das variantes T1 e T2 é 0,7K mais elevada que na T3, no qual se constitui um indício de adaptação dos usuários ao clima local. No período transitório observam-se mínimas diferenças entre as variantes analisadas ($\approx 0,3\text{K}$).

O Gráfico 2 mostra a distribuição de votos de preferência de usuários consultados através da escala de três pontos (vide Figura 4) no período transitório e no verão e somente aqueles que durante a medição demonstraram desconforto térmico ($PV \neq 0$) e preferem um ambiente mais quente ($PV = +1$; curva decrescente) ou mais frio ($PV = -1$; curva crescente). Sobre o eixo-x do Gráfico 2 se expressa a temperatura operativa em classes a cada 2 °F (Fahrenheit) e seu equivalente em graus Celsius. O Gráfico 2 mostra que a cota percentual mínima de usuários insatisfeitos com o ambiente térmico, por frio ou calor, obtém-se a $t_{op} = 23,3^\circ\text{C}$. O ponto de interseção entre ambas as retas de regressão é um “indício” da condição de máximo conforto térmico e constitui um indicador de desconformidade térmica para locais de trabalho. Todos os valores de análise no Gráfico 2 superam 99% de confiança.

O intervalo de aceitação térmica poderia ser estimado em base a deduções sobre o modelo de conforto proposto por Fanger, quem 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 que o que possuem, votariam por cima de +1 e por baixo de -1 respectivamente sobre a escala de 7-pontos de ASHRAE. Este critério é adotado pela norma (ISO 7730, 2005) e por outras nas quais se baseiam alguns de seus fundamentos sobre esta última (ASHRAE 55, 2004; ISSO 74, 2004).

Tabela 1 Relação entre os valores médios e de desvio padrão da temperatura de preferência no período transitório e de verão.

	T1	T2	T3
Edifícios Período transitório (n)	4	6	4
Temperatura desejada [°C]	23,2°C; $\sigma = 0,6$	22,9°C; $\sigma = 0,9$	23,2°C; $\sigma = 0,5$
Edifícios Período de verão (n)	6	9	4
Temperatura desejada [°C]	24,4°C; $\sigma = 0,8$	24,4°C; $\sigma = 0,6$	23,7°C; $\sigma = 0,7$

5 AVALIAÇÃO

5.1 Aceitação e neutralidade térmica

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

Da análise da dupla temperatura operativa versus voto médio de sensação térmica (t_{op} , CV), é possível observar diferenças entre as variantes de ventilação e climatização analisadas, que merecem ser expostas (ver síntese na Tabela 2).

Tabela 2 Análise de regressão linear entre a temperatura operativa de medição e o voto de sensação térmica, para as diferentes variantes em ventilação e climatização. Valores médios e desvio padrão.

	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 ; $\sigma = 0,55$
Pendente 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 ; $\sigma = 7,4$
Coeficiente de correlação (r)	+0,47	+0,48	+0,54

No Gráfico 3, a inclinação das retas de regressão, dadas pela constante “b”, encontradas para as variantes $T1 = +0,52$, $T2 = +0,69$ 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” ($CV = \pm 1$). Estes intervalos iniciam-se entre 21,4°C e 22,0°C e terminam entre 24,6°C e 25,3°C e constituem uma evidencia sobre a aceitação térmica e o nível de adaptação dos usuários. O valor da ordenada à origem, dado pela constante “a”, representa o valor que adquiri a variável independente “y”, quando “x” é igual a zero.

Um mesmo valor de temperatura não tem o mesmo significado para cada uma das variantes analisadas. A maior amplitude de intervalo de aceitação de t_{op} observa-se em espaços da variante T1, com valores mínimo de 21,4°C e máximo de 25,3°C, no qual é indício de que estes usuários são mais hábeis para se adaptarem a maiores amplitudes térmicas (ver Gráfico 3).

Cabe lembrar que as diferenças entre as pendentes 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 significância das retas de regressão encontradas. Estudos realizados em espaços reais de trabalho em climas quentes mostram pendentes “b” que variam entre +0,31 e +0,38 (SCHILLER *et al.*, 1988). A diferença com as pendentes obtidas neste trabalho é indício 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 da dupla (t_{op} , CV), nas variantes $T1 = +0,47$, $T2 = +0,48$ e $T3 = +0,54$ neste trabalho, ressalta a importância que tem a influência de uma população tão extensa de usuários consultados (1100 votos), com caracteres físicos, psicológicos e fisiológicos diferentes em quanto à percepção da temperatura (YE *et al.*, 2006). Em experimentos em câmara climática como as que desenvolvem Fanger, se alcançam coeficientes de correlação “r” que oscilam entre +0,70 e +0,85, enquanto que em estudos de campo, entre +0,30 e +0,55 (FANGER, 1970; AULICIEMS, 1981).

De conclusões publicadas em (KUCHEN e FISCH, 2009) destaca-se que os usuários de espaços com condições térmicas constantes ao longo do período, experimentam uma adaptação contínua, independentemente do clima exterior e chegam a aceitar condições térmicas que lhes são impostas, ainda quando o índice PMV, “Predicted Mean Vote”, (índice de predição sobre voto médio de sensação térmica), que propõe a norma (ISO 7730, 2005) indique que as condições térmicas não são boas (comparar com Figura 8 em KUCHEN e FISCH, 2009).

Isso permite justificar que os usuários de espaços da variante T3 (com climatização total), aceitem intervalos mais estreitos e mínimos desvios de temperatura operativa e prefiram condições térmicas quase constantes (ver Tabela 1). Cabe destacar que quanto mais estreito se mantém o intervalo de temperatura operativa e mínimos sejam os desvios estacionais deste parâmetro, maiores serão as expectativas dos usuários sobre o conforto térmico (HELLWIG, 2005; DE DEAR *et al.*, 1997; KUCHEN, 2008).

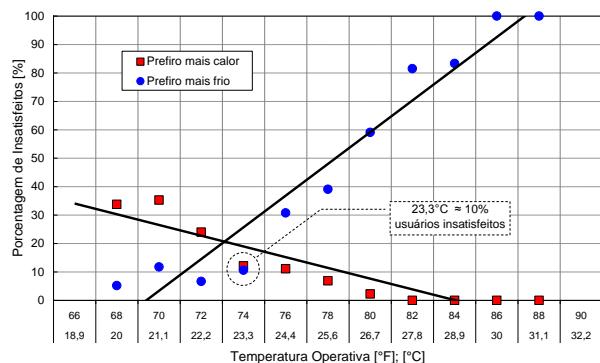


Gráfico 2 Cota de insatisfeitos por condições térmicas de frio ou calor a respeito da temperatura operativa, segundo (KUCHEN, 2008)

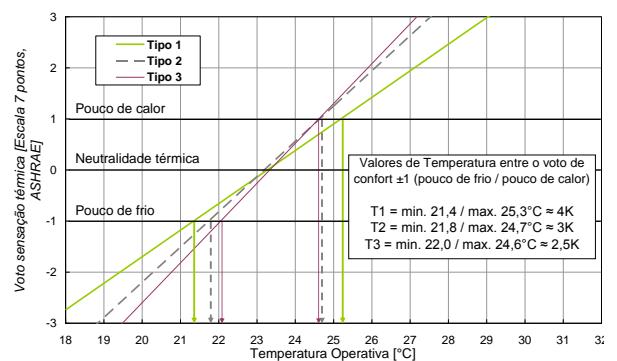


Gráfico 3 Modelo de regressão linear entre a temperatura operativa e o voto médio de sensação térmica em função das variáveis de ventilação e climatização

O conceito de neutralidade térmica serve para expressar o estado 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) sobre a escala de 7-pontos de ASHRAE. Considera-se o enunciado de Griffiths, aonde indica que quando $CV = 0$, então $t_{op} = t_n$ (ver GRIFFITHS, 1990; KUCHEN e FISCH, 2009), é possível calcular um valor de temperatura de neutralidade (t_n) para cada caso de estudo.

Os valores de temperatura operativa que se lêem sobre a interseção da reta de regressão com o eixo- $y = 0$ no Gráfico 3, (voto de sensação térmica $CV = 0$), alcançam um valor de t_{op} de $23,2^{\circ}\text{C}$ em espaços das variantes T1 e T2 e em T3 de $23,3^{\circ}\text{C}$. O conceito de neutralidade está em direta relação com o de preferência térmica. A partir de comparar o Gráfico 2 com o Gráfico 3, se sugere a existência de uma zona de conforto, aonde o desconforto térmico chegue a ser mínimo.

5.2 Predição do índice de desconforto térmico

O desenvolvimento de um modelo de predição do índice de desconforto térmico exige estabelecer um paralelo entre outros estudos e considerar a existência do índice PMV, desenvolvido pelo Prof. Fanger (Fanger 1970). O modelo de Fanger se baseia em um experimento com pessoas, em uma câmara climática controlada, variando a temperatura operativa e mantendo constantes os parâmetros climáticos que influem na sensação térmica ($v_a < 0,1 \text{ m/s}$ e $RH = 50\%$). Os entrevistados ($n \approx 1300$) são jovens estudantes, que possuem níveis de isolamento da roupa de 0,6 clo (clothing) $\approx 0,9 \text{ m}^2\text{K/W}$ e têm uma atividade do tipo sedentária (trabalho de escritório), de 1,2 met (metabolic equivalent of task) $\approx 70 \text{ W/m}^2$. 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 predição do voto médio de sensação térmica, PMV (Predicted Mean Vote), variável em função dos parâmetros climáticos, permite elaborar um índice de predição do percentual de desconformes, 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 desconformes de 5%. Estes valores são adotados pela norma internacional (ISO 7730) e pela norma norte-americana (ASHRAE 55). O índice PPD é definido pela seguinte equação:

Equação (1)

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

Outros pesquisadores contestam a teoria de Fanger, já que os estudos na câmara climática encontram desvios notáveis entre o voto de sensação térmica CV que dizem os entrevistados e o índice PMV (vide PARSONS, 2002). (ARAÚJO e ARAÚJO, 1999) fizeram um extenso trabalho de campo em edifícios com ventilação natural no Brasil. Os entrevistados ($n = 1866$) são estudantes, que possuem níveis de isolamento da roupa de 0,6 clo e têm um voto de conforto CV que difere de outros estudos. Em seus estudos se encontra uma porcentagem mínima de desconformes de 47%, quando o PMV = 0, de acordo com a fórmula:

Equação (2)

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

Em uma câmara controlada, Mayer realiza um estudo com 100 pessoas e corrige o modelo de Fanger. Define o percentual mínimo de desconformes é de 16%, quando $PMV = +0,5$ (Mayer, 1998).

Equação (3)

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

(YOON *et al.*, 1999) realiza estudos com 40 estudantes, no verão, em uma câmara climática controlada na Coreia. Os entrevistados possuem níveis de isolamento da roupa de 0,4 clo, um nível de atividade de 1,2 met e se encontra um percentual mínimo de desconformes de 18%, quando $PMV = -0,8$. Com este se estima que os usuários preferem temperaturas mais baixas que as que propõem o modelo de Fanger (ver Equação (4)).

Equação (4)

$$PPD = 11,37 \cdot PMV^2 + 18,34 \cdot PMV + 24,42 ; [\%]$$

(XAVIER *et al.* 2000), realiza um estudo de campo em escolas do Brasil. Os entrevistados ($n = 1400$) dão o voto CV que resulta em um índice de sensação térmica, identificado como “S” (Sensação térmica), ver Equação (5), que se baseia em um modelo de regressão linear múltipla e que se obtém da correlação entre os parâmetros de climáticos e de medição. Relacionando os parâmetros climáticos de medição com os valores subjetivos da escala de 7-pontos de ASHRAE, se define um índice de porcentagem de desconformes, identificado como “I” (Insatisfeitos) e encontram um percentual mínimo de desconformes de 21,1%, quando o voto de sensação térmica $CV = 0$. Vide Equação (6).

Huizenga se baseia em grande quantidade de estudos e chega à conclusão de que a porcentagem mínima de insatisfeitos pode estar incluso acima de 40% (HUIZENGA *et al.*, 2006).

Equação (5)

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

Equação (6)

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

Todos estes trabalhos definem desvios dos valores de índice obtidos por Fanger, tanto no eixo-x como no eixo-y (ver Gráfico 4). Com estes e outros trabalhos, é possível unificar a idéia 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 entrevistado.

5.3 Desenvolvimento do modelo de predição

Considerando os aspectos de relevância que mencionam outros autores e o significado que possa ter a escala de 7-pontos de ASHRAE, é feita uma análise entre a informação que transmite o voto de preferência térmica (vide ponto 4.3) e os valores de temperatura operativa medidos.

O Gráfico 2 mostra as retas de regressão que se obtém ao relacionar determinado índice de desconforto térmico por frio ou por calor, com a temperatura operativa medida. Para a comparação com o modelo de Fanger, é feita uma análise de probabilidade entre o índice de desconforto térmico e os valores de temperatura operativa medidos, mediante a aplicação do Software “Mathematica”. Isto permite desenhar uma curva de regressão semelhante a uma distribuição gaussiana invertida, onde o valor mínimo ou ápice da curva coincide com o percentual mínimo de insatisfeitos com relação ao ambiente térmico e ao valor de temperatura de neutralidade.

No Gráfico 5, se sobrepõem o modelo desenvolvido neste trabalho com a curva encontrada por Fanger (linha de traço descontinua). O valor de temperatura de neutralidade que encontra Fanger é 25,6°C e a porcentagem mínima de insatisfeitos é de 5% (FANGER, 1970).

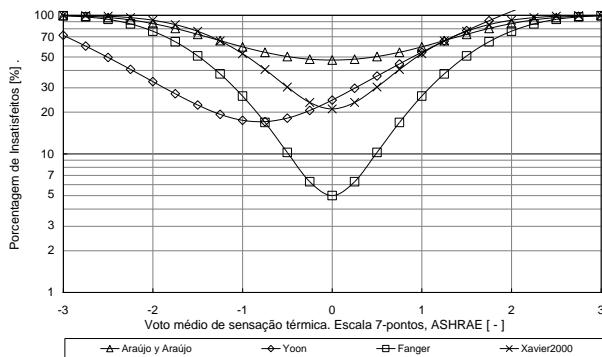


Gráfico 4 Modelos de regressão não-lineares encontrados em outros estudos para expressar o índice PPD em relação à escala de 7-pontos de ASHRAE.

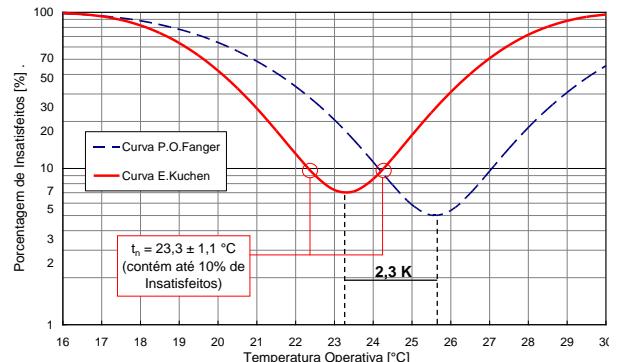


Gráfico 5 Porcentagem de insatisfeitos em função da temperatura operativa de medição

Neste trabalho, encontra-se uma temperatura de neutralidade 2,3K mais baixa que a que encontra Fanger (vide Gráfico 5) e a porcentagem de insatisfeitos é de 7% a $t_{op} = 23,3^\circ\text{C}$. O Gráfico 5 mostra que a cota de insatisfeitos incrementa-se à medida que aumente ou diminua o valor de temperatura operativa de 23,3°C, pelo qual é possível definir intervalos de aceitação térmica e um indicador porcentual de desconforto para cada intervalo. Ao observar o Gráfico 5, o 10% de insatisfeitos se encontra dentro de um intervalo de t_{op} definido entre $23,3 \pm 1,1^\circ\text{C}$ e se incrementa até um 20% enquanto a temperatura operativa não supere 25,5°C ou diminua por baixo de 21,5°C. O 35% de insatisfeitos se encontra entre $23,3 \pm 3^\circ\text{C}$ (ver Gráfico 5).

A Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. representa a função da curva de regressão não linear que se mostra no Gráfico 5 e responde à análise de probabilidade desenvolvida neste trabalho. Esta equação permite calcular a porcentagem do desconforto térmico.

O modelo de Fanger permite definir o conforto em espaços com condições térmicas similares às que se tem em câmara climática, ou seja, em espaços da variante T3. Ainda que Fanger advira 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 desconforto térmico que desenvolve, não admite variáveis. Deve-se usar o modelo de Fanger com muita cautela já que pode ocasionar erros graves.

Equação (7)

$$Insatisfeitos_{(Kuchen)} = 100 - 93 \cdot \exp^{(-0,0009 \cdot (-t_n + t_{op})^4 - 0,034 \cdot (-t_n + t_{op})^2)}; \quad [\%]$$

t_n = temperatura de neutralidade

t_{op} = temperatura operativa

O modelo de predição proposto neste trabalho, diferente do proposto em padrões internacionais (ISO 7730, 2005; ASHRAE 55, 2004), permite introduzir duas variáveis locais que definem a condição de conforto térmico. A Variável 1, o valor de temperatura de neutralidade de cálculo, ao considerar o voto de conforto dos usuários e a Variável 2, o valor de temperatura operativa de medição. Desta maneira, se logra considerar fatores que têm influência sobre o grau de adaptação térmica dos usuários, assim como considerar diferenças climáticas estacionais, geográficas, culturais, entre outras e conduzir a uma otimização do funcionamento adequado de edifícios com variantes nos sistemas de ventilação e climatização.

6 CONCLUSÕES

A avaliação do conforto térmico expõe claras diferenças sobre a aceitação térmica de usuários de espaços com variantes na estratégia de ventilação e climatização e se conclui que, o modelo de conforto deve introduzir variáveis próprias do entorno local.

A pendente b da análise de regressão 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 contraposição a isso, 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 da variante T3 é 1,5 vezes mais sensível que em espaços da variante T1. Em espaços da variante T2 observa-se uma situação intermediária, onde os usuários são até 1,2 vezes mais sensíveis que em T1.

Os variados níveis de adaptação do usuário não podem ser avaliados sob um mesmo critério e, constituem um potencial para fazer mais eficiente o funcionamento de edifícios com diferentes sistemas de ventilação e climatização. A partir do modelo 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 descrever a zona de conforto térmica.

Um resultado similar obtém-se da temperatura de preferência, na qual serve para, além de indicar o desconforto térmico em termos porcentuais, descrever o forte significado que pode ter uma variação de t_{op} em $\pm 1^\circ\text{C}$ sobre o consumo energético do edifício.

A **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** possibilita conhecer o índice de desconforto térmico de um grupo de usuários, incorporando a t_{op} e t_n como variáveis. Isto constitui uma importante inovação, já que permite abordar o conforto térmico de espaços reais e desenvolver estratégias para a otimização energética de edifícios.

7 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**”, Proceedings Indoor Air 1999, Vol.2, pp 148-153, 1999.

ASHRAE 55:2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy** (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55:1992).

AULICIEMS A. **Effects of Weather on Indoor Thermal Comfort.** Department of Geography, Whiteknights, University of Reading, Reading, Berks., England; Int. J. Biometeor. , vol. 13, No. 2, pp. 147-162, 1969.

AULICIEMS A. **Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception.** Department of Geography, University of Queensland, St. Lucia, Qld. 4067, Australia; Int. J. Biometeor. , vol. 25, No. 2, pp. 109-122, 1981.

AULICIEMS A.; DE DEAR R. **Air Conditioning in a Tropical Climate:** Impacts upon European Residents in Darwin, Australia. Department of Geography, University of Queensland, St. Lucia, Qld. 4067, Australia; Int. J. Biometeor., vol. 30, No. 3, pp. 259-282, 1986.

BEDFORD T. **Environmental Warmth and Human Comfort.** Medical Research Council, Environmental Hygiene Research Unit, London School of Hygiene and Tropical Medicine, Gower Street, London, W.C.1; British Journal and Applied Physics, vol. 1, No. 2, pp. 33-38, 1950.

BOESTRA A. C. **The adaptive thermal comfort criterion in the new EPBD IEQ Standard.** BBA Indoor Environmental Consultancy, The Netherlands (bba@binnenmilieu.nl), 2006.

CENA K.; DE DEAR R. **Field Study of Occupant Comfort and Office Thermal Environments in a Hot-Arid Climate.** Final Report ASHRAE, RP-921; Institute for Environmental Science, Murdoch University, Perth, Australia. ISBN 0-86905-648-4, 1998.

DE DEAR R.; BRAGER G. S. **The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment.** Int. J. Biometeorol. (2001) 45: 100-108, 2001.

DE DEAR R.; BRAGER G. S.; COOPER D. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference.** Macquarie University, Sydney, Australia and Centre for Environmental Design Research, University of California, Berkley, USA; ASHRAE RP-884, 1997.

DIN EN ISO 7726. **Umgebunklima. Instrumente zur Messung physikalischer Größen** (ISO 7726:1998). Deutsche Fassung EN ISO 7726:2001.

EN ISO 10551. **Ergonomie des Umgebungsklimas.** Beurteilung des Einflusses des Umgebungsklima unter Anwendung subjektiver Bewertungsskalen. Deutsche Fassung EN ISO 10551:2002.

FANGER P. O. **Thermal Comfort.** Technical University of Denmark, Laboratory of heating and Air Conditioning; Danish Technical Press, Copenhagen; ISBN: 87-571-0341-0, 1970.

FISCH M. N.; PLESSER S.; BREMER C. **EVA – Evaluierung von Energiekonzepten für Bürogebäude.** Bericht zur Grobanalyse; BMWA, 2007.

FRANK W. **Raumklima und Thermische Behaglichkeit.** Institut für Bauphysik der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. mit 21 Bildern und 12 Tabellen; Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn KG.; ISBN: 3-433-00731-4, 1975.

GONZALO G. E.; NOTA V. M.; HERNANDEZ S. P.; MARTINEZ C. F.; LEDESMA S. L. **Diseño Bioclimático de Oficinas.** Pautas para San Miguel de Tucumán. Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente, Instituto de Acondicionamiento Ambiental. 1^a ed. - Tucumán: el autor, 2007, ISBN 987-43-9361-0, 285 p., 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. PhD Thesis. Dissertation: Technische Universität München, 2005.

HELLWIG R.T.; BISCHOF W. **Gültigkeit thermischer Behaglichkeitsmodelle.** Ernst&Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin. Bauphysik 28, Heft 2, 2006.

HUIZENGA C.; ABBASZADEH S.; ZAGREUS L.; ARENS E. **Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings:** Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey. Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisbon, Vol. III, 393-397, 2006.

ISO 7730. (2005). 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.

ISSO 74. **Thermische Behaglichkeit.** New Dutch Thermal Comfort Guideline. Publication 74, Rotterdam, Holland, 2004.

KUCHEN E. **Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäude.** PhD Thesis. Dissertation: Technische Universität Braunschweig. ISBN 978-3-89959-783-7, S. 203, Der Andere Verlag, Tönning, Alemania, 2008.

KUCHEN E; FISCH M. N. **Spot Monitoring - Thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter.** Building and Environment; 44 (4):839-847, 2009.

MAYER E. **Ist die bisherige Zuordnung von PMV und PPD noch richtig?** Klimatechnik / Behaglichkeit; Ki Luft- und Kältetechnik 12/1998.

MCCARTNEY K. J.; NICOL J. F. **Developing an adaptive control algorithm for Europe:** Results of the SCATs project. Oxford Centre for Sustainable Development, Oxford Brookes University, 2002.

MCINTYRE D. A. **Three approaches to thermal comfort.** ASHRAE Transactions, Vol. 84, Part 1, 1978.

NICOL J. F.; HUMPHREYS M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings.** Oxford Centre for Sustainable Development, School of Architecture, Oxford Brookes University, Gipsy Lane, Oxford OX3 0BP, UK, 2002.

NICOL J. F.; HUMPHREYS M. A. **Maximum temperatures in buildings to avoid heat discomfort.** International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", Santorini, Greece, 2005.

NICOL J. F.; RAJA, I. A. **Indoor thermal comfort: the Pakistan study.** Energy for Sustainable Development; Letter, No. 5; 1/1997; pp. 50-60, 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; 34: 593-599, 2002.

RAUE A. K.; BOESTRA A. C.; VAN DEN LINDEN A. C.; KURVERS, S. R. **NATVENT Buildings versus HVAC Buildings**. A New Dutch Thermal Comfort Guideline. 25th AIVC Conference, Prague, Czech Republic, 2004.

RAUE A. K.; KURVERS S. R.; VAN DEN LINDEN A. C.; BOESTRA A. C.; PLOKKER W. **Dutch Thermal Comfort Guidelines**. From weighted temperature exceeding hours towards adaptive temperature limits; the Netherlands, 2006.

SCHILLER G. E.; ARENS E. A.; BAUMAN P. E.; BENTON C.; FOUNTAIN M.; DOHERTY T. A **Field Study of Thermal Environments and Comfort in Office Buildings**. Centre for the Built Environment; University of California, Berkley; No. 3164 (RP-462), 1988.

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**; ENTAC. VI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, Brasil, 2000.

YE X. J.; ZHOU Z. P.; LIAN Z. W.; LIU H. M.; LI C. Z.; LIU Y. M. **Field study of a thermal environmental and adaptive model in Shanghai**. Institute of Refrigeration and Cryogenic, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China; Indoor Air; 16: 320-326, 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**, Proceedings Indoor Air 1999, Vol.2, pp 137-141, 1999

8 AGRADECIMENTOS

O autor gostaria 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) e ao seu diretor Prof.-Univ. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch. Além de agradecer a colaboração do Prof.-Univ. Dr. Arq. Guillermo E. Gonzalo, da Bolsista Arq. Cristiana Azevedo e da Ing. Alessandra Capitanio.