

VENTILAÇÃO DO AMBIENTE E O CONFORTO TÉRMICO

Álvaro Cesar Ruas (1); Lucila Chebel Labaki (2)

(1) FUNDACENTRO - Campinas, R. Marcelino Velez, 43 - CEP 13020-200, Campinas/SP.
Tel/Fax (55-19) 3232 5269 - E-mail: acruas@br.inter.net

(2) Faculdade de Engenharia Civil-UNICAMP, CP 6021, CEP 13083-970, Campinas/SP.
Tel. (55-19) 3788 2384, Fax (55-19) 3788 2411 - E-mail: lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

O movimento do ar num ambiente interfere no conforto térmico das pessoas devido a sua influência nos processos de troca de calor do corpo com o meio. Essa influência pode ser benéfica, quando o aumento da velocidade do ar provoca uma desejável aceleração nos processos de perda de calor do corpo, ou prejudicial, quando a perda de calor é indesejável e provoca o resfriamento excessivo do corpo com um todo, ou de uma de suas partes, efeito internacionalmente conhecido como *draught*. O movimento do ar pode também influenciar negativamente na aceitação de um ambiente devido à sensação desagradável provocada pela colisão de ar em alta velocidade contra as pessoas ou por provocar a movimentação indevida de materiais.

A norma ISO 7730 (1994) é mais restritiva que a ASHRAE 55 (1992) no que se refere à utilização de maiores velocidades do ar para compensar temperaturas ambientes mais elevadas. Isto é especialmente importante para países de clima quente como o Brasil em que o aumento da velocidade do ar poderia ser uma solução economicamente viável para obtenção do conforto térmico no verão. Assim o objetivo desse trabalho é analisar o efeito da velocidade do ar no conforto térmico a partir dos experimentos que subsidiaram as modificações nas normas ASHRAE 55 (1992) e ISO 7730 (1994) e outros que trataram desse tema.

ABSTRACT

The air movement interferes in people's thermal comfort due to its influence in the heat exchange processes of the body. The influence can be beneficial, when the increased air velocity provides a desirable acceleration in body's heat loss processes, or harmful, when the heat loss is undesirable and causes the cooling of the body, either as a whole, either of one particular part, effect which is internationally known as *draught*. The air movement can also influence negatively in the acceptance of an environment due to the unpleasant sensation caused by the high-speed air collision against people or for causing unwanted materials movement.

The norm ISO 7730 (1994) is more restrictive than ASHRAE 55 (1992) about the use of higher air velocity to compensate higher air temperatures. This is especially important for countries with hot climate like Brazil, in which the increased air velocity could be an economically viable solution to achieve thermal comfort in summer. So the objective of this work is to analyse the effect of air movement in thermal comfort based on the experiments, which subsidised the modifications in the norms ASHRAE 55 (1992), ISO 7730 (1994) and others that treat about this subject.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação desempenha uma função fundamental na manutenção da saúde e do bem-estar humano. Na saúde, age mantendo a concentração de contaminantes nos ambientes em níveis seguros e no bem-estar propicia, em função das necessidades, as condições adequadas à troca de calor do corpo. Na segurança do homem, é essencial, quando mantém a concentração de elementos inflamáveis ou explosivos fora da faixa de inflamabilidade ou explosividade.

Assim, ventilar um local adequadamente significa fornecer e/ou retirar ar desse local de forma a satisfazer as exigências quanto a saúde, a segurança e a expectativa de bem-estar humano. Essa expectativa refere-se não só ao conforto térmico mas também a qualquer incômodo que o deslocamento do ar possa causar.

Abordar a interação homem e ventilação ambiente sob todos esses ângulos resultaria num estudo extenso com envolvimento multidisciplinar. Portanto, esse trabalho restringe-se aos fatores relacionados ao bem-estar humano.

O movimento do ar num ambiente interfere no conforto térmico das pessoas devido a sua influência nos processos de troca de calor do corpo com o meio por convecção e por evaporação. Essa influência pode ser benéfica, quando o aumento da velocidade do ar provoca uma desejável aceleração nos processos de perda de calor do corpo, ou prejudicial, quando a perda de calor é indesejável e provoca o resfriamento excessivo do corpo com um todo, ou de uma de suas partes, efeito internacionalmente conhecido como *draught*.

O movimento do ar pode também influenciar negativamente na aceitação de um ambiente devido a sensação desagradável provocada pela colisão de ar em alta velocidade contra as pessoas ou por provocar a movimentação indevida de materiais.

Com o intuito de evitar os efeitos negativos do movimento do ar no conforto térmico das pessoas, a norma americana ASHRAE 55 (1981) estabeleceu, para atividades sedentárias e temperaturas dentro do intervalo de conforto, limite de velocidade média do ar de 0,15 m/s no período de inverno e de 0,25 m/s no verão, sendo que no verão a norma permitiu estender progressivamente esse limite até 0,8 m/s quando o intervalo de conforto, da mesma forma, é estendido até a temperatura ambiente de 28 °C.

A norma internacional ISO 7730 (1984) seguiu a norma americana, e para evitar o *draught* estabeleceu, para atividades sedentárias e temperaturas dentro do intervalo de conforto, os limites de velocidade de 0,15 m/s para inverno e 0,25 m/s para verão. Essa norma não prevê a ampliação do intervalo de conforto no verão com o aumento da velocidade relativa do ar.

A evolução do conhecimento sobre esse assunto levou à atualização da norma americana (ASHRAE 55, 1992) que passou a estabelecer os requisitos de velocidade média do ar, para atividades sedentárias e temperaturas no intervalo de conforto, através de um gráfico (figura 4 da norma) que relaciona velocidade, intensidade de turbulência e temperatura do ar. A nova versão da norma preserva a idéia anterior de ampliação do intervalo de conforto no verão através do aumento da velocidade do ar, mas condiciona essa alternativa à possibilidade das pessoas poderem controlar individualmente a velocidade em intervalos não superiores a 0,25 m/s. Quando essa solução for adotada a velocidade média do ar recomendada é obtida num gráfico (figura 3 da norma) em função do adicional de temperatura em relação à temperatura limite de conforto e do diferencial entre a temperatura radiante média e a temperatura do ambiente; para atividades sedentárias o valor máximo continua sendo 0,8 m/s. Para atividades não sedentárias, a norma faz menção de que a figura 3 é conservadora e que velocidades de ar mais elevadas podem ser usadas para melhorar o conforto térmico, embora não tenha estabelecido nenhuma relação precisa.

A norma internacional também foi atualizada (ISO 7730, 1994), e para evitar o *draught* seguiu mais uma vez as especificações da norma americana, estabelecendo as recomendações de velocidade média do ar, para atividades sedentárias e temperaturas no intervalo de conforto, através de um gráfico (figura D.2 da norma) que relaciona velocidade, intensidade de turbulência e temperatura do ar. A atualização manteve a posição anterior de não prever a ampliação do intervalo de conforto com o aumento da velocidade relativa do ar.

A ISO 7730 (1994) é mais restritiva que a ASHRAE 55 (1992) no que se refere à utilização de maiores velocidades do ar para compensar temperaturas ambientes mais elevadas. Isto é especialmente importante para países de clima quente como o Brasil em que o aumento da velocidade do ar poderia ser uma solução economicamente viável para obtenção do conforto térmico no verão. Assim o objetivo desse trabalho é analisar o efeito da velocidade do ar no conforto térmico a partir dos experimentos que subsidiaram as modificações nas normas ASHRAE 55 (1992) e ISO 7730 (1994) e outros que trataram desse tema.

2. RELAÇÕES ENTRE A VELOCIDADE DO AR E O BEM-ESTAR

O equilíbrio térmico do corpo humano é mantido por um sistema orgânico chamado de termorregulador, que através de ações fisiológicas interfere nas trocas térmicas com o ambiente. Conforto e equilíbrio térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem estar térmico depende do trabalho que o sistema termorregulador tem que desenvolver para manter o equilíbrio térmico. Isso significa que, quanto maior for o esforço desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto.

Dessa forma o conforto térmico depende de fatores que interferem no trabalho do sistema termorregulador como: taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar.

A velocidade do ar interfere no trabalho do sistema termorregulador porque, aumentando-se o movimento da camada de ar que circunda o corpo, provoca-se a aceleração do processo de troca térmica por convecção e, em se tratando de ar não saturado, aumenta-se a perda de calor por evaporação. O ar em velocidade pode também diminuir o isolamento térmico básico e a resistência à troca por evaporação das vestimentas numa proporção que depende da permeabilidade do tecido e do número e tipo das aberturas existentes.

3. INFLUÊNCIA DO MOVIMENTO DO AR NO CONFORTO TÉRMICO

Desde o início dos anos setenta importantes trabalhos têm sido desenvolvidos nos Estados Unidos, Europa e Japão com o objetivo de investigar os efeitos do movimento do ar no conforto térmico. A maioria desses estudos foi realizada em câmaras climatizadas, com enfoque principalmente em atividades sedentárias. Os experimentos foram desenvolvidos com métodos específicos, mas o objetivo comum foi descobrir a sensação térmica das pessoas quando expostas a diferentes combinações de temperatura e movimento do ar. De uma forma geral o procedimento experimental seguiu a seguinte seqüência: 1º) recepção das pessoas participantes do experimento, com verificação do estado de saúde e orientação quanto ao uso de escala de sensação térmica e/ou escala de preferência térmica, 2º) entrada na câmara climatizada e estabilização numa condição de neutralidade térmica, 3º) período de exposição a uma determinada condição ambiental que é mantida constante por um tempo específico ou sistematicamente alterada pelos pesquisadores ou pelos participantes, 4º) aplicação de questionário relativo à sensação térmica, 5º) fim do experimento ou alteração da condição ambiental (temperatura ou velocidade do ar) e início de nova exposição. As estratégias adotadas no período de exposição foram diferentes: em alguns casos os pesquisadores estabeleciam a temperatura do ar e as pessoas testadas podiam controlar a velocidade para obter o conforto térmico, em outros a velocidade era definida pelos pesquisadores e a temperatura pelas pessoas e no terceiro caso os pesquisadores tinham controle sobre tudo.

Assim, em 1972, na Dinamarca foi realizado um estudo para verificar se o conforto térmico independe de como as variáveis pessoais e ambientais foram combinadas ou se há alguma preferência (OLESEN et al., 1972). Foram testadas 16 combinações de variáveis utilizando: roupas de 0,1 clo e 0,6 clo, atividades de 58 W/m² e 116 W/m², velocidades relativas do ar de 0,1 m/s e 0,8m/s (fluxo aplicado no corpo todo, direção horizontal frontal, turbulência (TU) igual a 2%), temperaturas ambiente reguladas de forma a proporcionar conforto térmico (14,8 °C a 31,1 °C), temperatura radiante média igual ao ambiente e 5° C inferior. As conclusões foram as seguintes: a) na condição de conforto térmico numa determinada atividade, a pessoa tem uma temperatura média da pele e uma perda de calor por evaporação do suor que independe de como as variáveis formam combinadas, b) não há dificuldade para obter o conforto térmico com velocidade do ar de 0,8 m/s (sem turbulência, TU=2%).

Em 1974, também na Dinamarca, foi desenvolvida uma pesquisa para analisar se é possível obter o conforto expondo pessoas a um fluxo de ar uniforme (TU de 2 e 4%) com velocidade de 0,8 m/s e se a temperatura ambiente preferida a uma dada velocidade do ar depende da direção do fluxo de ar (FANGER et al., 1974). Foi utilizada roupa de 0,6 clo, atividade sedentária e fluxos de ar, no corpo todo, aplicados nas seguintes direções: horizontal frontal, horizontal lateral, horizontal por trás, vertical de baixo e vertical de cima. Concluiu-se que: a) Não há dificuldade em obter o conforto térmico, independente da direção do fluxo, b) As pessoas preferem uma temperatura ambiente que parece ser independente da direção do fluxo (o intervalo preferido foi de 23 a 28 °C), c) A influência quantitativa da velocidade do ar no conforto apresentou excelente concordância com a equação de conforto de Fanger, d) a turbulência do ar mostrou ter influência no conforto porque as pessoas preferiram, com turbulência de 4%, uma temperatura em média 0,7° C superior àquela escolhida com turbulência de 2%.

Ainda em 1974 foi desenvolvido nos Estados Unidos um importante trabalho (ROHLES et al., 1974) que expôs pessoas em atividade sedentária a nove combinações de temperatura e velocidade do ar, em intervalos de 22,2 a 29,5°C e de 0,2 a 0,8 m/s. O ar foi insuflado uniformemente pelo teto perfurado. Os pesquisadores não observaram o *draught* e encontraram grande inter-relação entre temperatura média da pele, sensação térmica, temperatura e velocidade do ar. Baseados nos resultados encontrados eles recomendaram a ampliação do intervalo de conforto no verão com o aumento da velocidade do ar até 0,8 m/s. Essa recomendação foi posteriormente incorporada na norma ASHRAE 55 (1981).

Em 1978 no Reino Unido foram feitos testes com pessoas em atividade sedentária e vestindo roupa leve ($\approx 0,5$ clo) para verificar se é possível obter conforto em altas temperaturas aumentando-se a velocidade do ar e se há uma temperatura máxima acima da qual o aumento da velocidade do ar não propicia condições satisfatórias (MCINTYRE, 1978). Nos testes, a temperatura da câmara foi estabelecida pelo pesquisador, o intervalo usado foi de 22 a 30°C, e para obter o conforto, a pessoa testada regulava a velocidade de um ventilador de teto que insuflava ar, verticalmente sobre a mesma, através de uma caixa perfurada. Algumas conclusões desse trabalho foram: 1) o movimento do ar sobre uma pessoa é percebido devido o aumento do resfriamento pelo ar e também pela pressão produzida. Esse último efeito, geralmente é indesejável nas atividades sedentárias e isso fez com que as velocidades escolhidas fossem menores que as que produziriam neutralidade térmica. 2) a percepção da intensidade da corrente de ar é proporcional ao quadrado da velocidade; 3) o limite superior da temperatura para conforto é de 28°C. Acima desse valor a velocidade do ar necessária para diminuir o desconforto é muito perturbadora.

Partindo da suposição de que a intensidade da turbulência do ar influenciava o conforto térmico, foi realizado na Dinamarca um trabalho de campo para identificar as flutuações na velocidade do ar em ambientes típicos ventilados (THORSHAUGE, 1982). Foram analisados doze ambientes com volumes entre 30 e 930 m³ e encontrou-se velocidades médias no intervalo entre 0,05 e 0,5 m/s e intensidades de turbulência entre 20 e 100%. O pesquisador obteve uma relação linear entre a velocidade média e o desvio padrão de velocidades.

Cinco anos mais tarde, nova pesquisa foi realizada para identificar as características da turbulência que ocorrem nas zonas de ocupação de ambientes ventilados típicos da Dinamarca (HANZAWA et al., 1987). Nessa oportunidade foram estudados vinte locais com volumes entre 30 e 850 m³. Os principais resultados foram: 1) velocidades médias entre 0,05 e 0,4 m/s e intensidades de turbulência de 10 a 70% no nível do tornozelo (0,1 m) e de 10 a 60% no nível da cabeça (1,1m), 2) a intensidade da turbulência é função da velocidade média, quando a velocidade média aumenta a intensidade da turbulência diminui, 3) existe uma relação linear entre a velocidade média e o desvio padrão.

A dúvida com relação a aplicabilidade do limite de velocidade de 0,8 m/s estabelecido pela ASHRAE 55 (1981) para ambientes com alta intensidade de turbulência, como a provocada por ventiladores de teto, motivou o estudo de ROHLES et al. (1983). Os testes foram feitos com pessoas em atividade sedentária, vestindo roupa leve (0,5 clo) e compreenderam temperaturas de 24, 26, 28 e 29°C, velocidades de 0,15, 0,25, 0,46 e 1,02 m/s e turbulência entre 30 e 50%. Concluiu-se no estudo que: 1) com ventiladores de teto (alto nível de turbulência) e velocidade média de 1 m/s, o limite de conforto pode ser estendido para 29°C, 2) com ventiladores de teto e alta temperatura é possível obter o mesmo nível de conforto que em temperaturas menores sem ventilação.

O trabalho de JONES et al. (1986) analisou o efeito do movimento do ar no conforto térmico de pessoas em atividade não sedentária. Nos experimentos testou-se velocidades de 0,21 e 1,2 m/s com vestimentas de 0,6 clo e 1,09 clo. A taxa de metabolismo foi de 133 W/m² e a temperatura foi ajustada para cada combinação de vestimenta e velocidade do ar de forma a proporcionar um Voto Médio Estimado (VME) no intervalo entre -1 e +1 (intervalo de 10 a 26 °C). As principais conclusões foram: 1) obtém-se similar, senão maior, nível de conforto na atividade de 133 W/m² com a combinação alta velocidade do ar e alta temperatura do que com baixa velocidade do ar e baixa temperatura para cada tipo de vestimenta, 2) na atividade de 133 W/m² as pessoas são mais sensíveis à temperatura do que é estimado pelo VME.

Com o objetivo de estabelecer a base científica necessária para prever a resposta humana à velocidade do ar, com as flutuações encontradas na prática, é que foi realizado o trabalho de FANGER e CHRISTENSEN (1986). Os testes consistiram em submeter pessoas em atividade sedentária a temperaturas de 20, 23 e 26°C e a velocidades do ar no intervalo entre 0,05 e 0,4 m/s. O ar foi insuflado por um difusor horizontal de teto que, posicionado atrás das pessoas, direcionava o fluxo na altura do pescoço. A turbulência ficou entre 30 e 60%. A roupa foi escolhida conforme a temperatura (de 0,58 a 0,91 clo). A cada 5 minutos as pessoas respondiam um questionário sobre a sua sensação térmica, quando expostas a uma condição em que a velocidade do ar era gradualmente aumentada a cada período de 15 minutos. Algumas conclusões desse trabalho foram: 1) a porcentagem de insatisfeitos aumenta com as flutuações da velocidade do ar, 2) a sensibilidade das pessoas ao *draught* faz com que os limites de velocidade do ar estabelecidos nas normas ISO 7730 (1984) e ASHRAE 55 (1981) não sejam adequados pois mesmo abaixo desses limites pode haver até 25% de insatisfeitos. Um resultado desse trabalho foi o desenvolvimento de um gráfico, para atividades sedentárias, que permite estimar a porcentagem de insatisfeitos devido ao *draught* em função da temperatura e velocidade média do ar.

Em 1987, no Japão, foi realizado um estudo para investigar se é possível obter o conforto nas altas temperaturas do verão através do aumento do movimento do ar (TANABE e KIMURA, 1987). As pessoas participantes nos experimentos vestiam roupa leve (0,5 clo) e executavam atividades sedentárias. Nos testes os pesquisadores estabeleciam a temperatura da câmara, no intervalo de 27 a 31°C, e alteravam aleatoriamente a velocidade do ar até que as pessoas escolhessem a velocidade preferida. O ar foi insuflado horizontalmente, por trás das pessoas, com velocidade que variou entre 0,13 e 1,6 m/s. A intensidade de turbulência ficou entre 30 e 47%. Concluiu-se no estudo que: 1) O VME não prevê adequadamente a sensação térmica com altas velocidades do ar porque não considera a maior perda por evaporação do suor nessas condições; com velocidades superiores a 0,5 m/s a sensação térmica é muito menor que a prevista pelo VME, 2) no intervalo de temperatura avaliado, a velocidade do ar preferida foi no mínimo 1,0 m/s (27°C) e no máximo 1,6 m/s (31°C), a sensação térmica média nessas velocidades foi - 0,5, indicando que as pessoas preferiram ambientes levemente frios.

A investigação da influência da turbulência na sensação de *draught* foi analisada pelo trabalho de FANGER et al. (1988). Nesse estudo, pessoas em atividade sedentária foram expostas a velocidades de ar entre 0,05 e 0,4 m/s e a níveis de turbulência baixa (<12%), média (entre 20% e 35%) e alta (>55%). A temperatura foi mantida em 23°C e o ar foi insuflado por trás das pessoas. As pessoas respondiam um questionário a cada 5 minutos sobre a sua sensação térmica quando expostas a uma condição em que a velocidade do ar era gradualmente aumentada a cada período de 15 minutos. As principais conclusões foram: 1) para uma dada temperatura e velocidade do ar a porcentagem de insatisfeitos é diretamente proporcional à intensidade de turbulência, 2) para uma dada porcentagem de insatisfeitos uma velocidade média do ar significativamente maior pode ser utilizada se a turbulência for baixa, 3) o fenômeno *draught* é uma particularidade das atividades sedentárias. Um resultado desse trabalho foi o desenvolvimento de um modelo matemático para prever a porcentagem de insatisfeitos devido a *draught* em função da temperatura do ar, da velocidade do ar e da intensidade da turbulência. Esse modelo foi adotado posteriormente pela ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (1992).

Visando determinar o limite superior de temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido capaz de produzir conforto com o movimento do ar produzido por ventilador de teto é que foi realizado o trabalho de SCHEATZLE et al. (1989). Os experimentos repetiram o método usado por ROHLES et al. (1983), só que desta vez aplicou-se as mesmas velocidades médias do ar (entre 0,15 e 1,02 m/s com TU ≈ 33%) a sete combinações de temperatura (de 25,5 a 35°C) e umidade relativa (de 24 a 73%). Os

resultados com velocidade do ar de 1,02 m/s confirmaram os obtidos por ROHLES et al. (1983), que propuseram um limite superior ao estabelecido na norma ASHRAE 55, (1981). Para condições de alta umidade (UR =73%) e velocidade do ar de 1,02 m/s a temperatura máxima em que se conseguiu conforto térmico foi 28°C.

FOUNTAIN et al. (1994) desenvolveram testes para verificar a velocidade do ar preferida por pessoas em atividade sedentária e vestindo roupa leve (0,5 clo), quando expostas a temperaturas de 25, 26, 27 e 28°C. As pessoas podiam controlar a velocidade do ar, que foi insuflado de três formas diferentes: através de difusor no piso, por difusor montado numa mesa e com ventilador de mesa; a turbulência ficou entre 30 e 60 %. As principais conclusões do trabalho foram: 1) o modelo da porcentagem de insatisfeitos devido a *draught*, da ASHRAE 55 (1992) não prevê adequadamente o limite superior de velocidade do ar preferido pelas pessoas, 2) o intervalo das velocidades do ar preferidas pelas pessoas aumenta com a temperatura.; 3) foi proposto um modelo que prevê a porcentagem de satisfeitos em função da temperatura e velocidade do ar em ambientes quentes. Esse modelo é aplicável quando as pessoas podem controlar a velocidade do ar.

O trabalho de TOFTUM (1994) foi realizado para verificar a aplicabilidade do modelo de *draught* proposto pela ISO 7730 (1994) para atividades não sedentárias (trabalhos manuais) em ambientes moderadamente frios. Para isso ele expôs dez pessoas, (homens, idade média 23 anos) que executavam atividades com taxas de metabolismo de 58 , 104 e 129 W/m², a temperaturas entre 11 e 20 °C, velocidades do ar entre 0,1 e 0,4 m/s e turbulência entre 10 e 40%. O isolamento térmico da vestimenta ficou entre 0,5 clo (20°C) e 1,3 clo (11°C). O resultado do trabalho demonstrou que o modelo subestima a sensação de *draught* e baseado nos dados obtidos, o autor propôs uma modificação no modelo para adequa-lo à utilização em atividades não sedentárias.

Em 2001 foi publicada uma pesquisa (GRIEFAHN et al., 2001) que objetivou verificar se o modelo de *draught* proposto pela ISO 7730 (1994) para atividades sedentárias e o de TOFTUM (1994) (modelo ISO 7730 modificado) para atividades não sedentárias estimam adequadamente a porcentagem de insatisfeitos quando aplicado à taxas de metabolismo entre 58 e 157 W/m² no intervalo de temperaturas entre 11 e 23 °C, de velocidades do ar entre 0,1 e 0,4 m/s e de turbulência < 30%, ≈ 50%, > 70%. Dos experimentos participaram 107 pessoas (33 mulheres e 74 homens idades entre 18 e 51 anos) que se vestiram para obter o conforto térmico (de 0,4 a 1,5 clo, sempre com os braços descobertos). As taxas de metabolismo mais altas foram obtidas com as pessoas em pé e operando um equipamento ergométrico de braço. Foram feitos testes com o ar sendo aplicado de diferentes direções: horizontal, vertical e diagonal. A velocidade relativa do ar devido à operação do equipamento ergométrico não foi considerada. As pessoas foram expostas a uma condição ambiental por 60 minutos e preencheram um questionário a cada 5 minutos sobre a sensação térmica do corpo como um todo e sobre partes específicas. A avaliação da porcentagem de insatisfeitos foi feita utilizando o último questionário, para garantir que a estabilidade de sensação fora alcançada. Os resultados dos teste realizados com atividade sedentária mostraram que o modelo da ISO 7730 (1994) subestima a sensação de *draught* para velocidades até 0,3 m/s e superestima para velocidade de 0,4 m/s. Os autores afirmam que a sensação de *draught* é subestimada devido ao fato de que nos experimentos de FANGER et al. (1988), base do modelo da ISO 7730 (1994), a velocidade média do ar foi aumentada a cada 15 minutos, não permitindo que a estabilidade fosse alcançada. Comparando-se agora os resultados obtidos com o modelo TOFTUM (1994), verificou-se que o modelo forneceu uma boa estimativa para os testes com taxa de metabolismo < 70 W/m², mas subestimou a sensação de *draught* para taxas de metabolismo maiores. Houve contudo, comparando-se todos os resultados, uma relação linear entre o estimado e o observado, o que fez com que autores realizassem uma correção na equação de Toftum para melhor adequa-la às estimativas nos intervalos testados.

4. CONCLUSÕES

A análise dos trabalhos referenciados deixa clara a carência de estudos sobre o efeito do movimento do ar em pessoas desenvolvendo atividades não sedentárias com temperaturas superiores a 21 °C. Essas atividades abrangem a maioria do trabalho industrial e essas temperaturas correspondem as médias anuais a que mais de 60% da população brasileira está exposta. O único trabalho encontrado com essa característica (JONES et al., 1986) concluiu que obtém-se similar, senão maior, nível de conforto com a combinação de alta velocidade do ar e alta temperatura do que com baixa velocidade

do ar e baixa temperatura e que na atividade de 133 W/m^2 as pessoas são mais sensíveis a temperatura do que é estimado pelo VME.

Alguns resultados especialmente interessantes para o caso de ambientes não condicionados foram os dos trabalhos de ROHLES et al. (1983), TANABE e KIMURA (1987) e SCHEATZLE et al. (1989), que testaram, para atividades sedentárias, temperaturas superiores ao intervalo de conforto de verão e condições de intensidade de turbulência do ar semelhantes às normalmente encontradas nos ambientes ventilados, e concluíram que velocidades da ordem $0,8 \text{ m/s}$ ou maiores podem ser adotadas para compensar temperaturas superiores a $26 \text{ }^\circ\text{C}$, como adotado pela ASHRAE 55 (1992).

Com relação a sensação de *draught* nas atividades sedentárias, os trabalhos de FANGER e CHRISTENSEN (1986) e FANGER et al. (1988) demonstraram que para uma determinada combinação de temperatura e velocidade do ar, a porcentagem de insatisfeitos é diretamente proporcional à intensidade de turbulência. Quanto ao gráfico recomendado pela ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (1992) para evitar o *draught*, os trabalhos de FOUNTAIN et al. (1994) e de GRIEFAHN et al. (2001) contestam a exatidão dos resultados fornecidos por ele afirmando que o modelo utilizado superestima a sensação de *draught* para velocidades iguais ou superiores a $0,4 \text{ m/s}$. Um resultado interessante dos trabalhos de TOFTUM (1994) e de GRIEFAHN et al. (2001), relativo as atividades não sedentárias, foi que embora a porcentagem de insatisfeitos devido à sensação de *draught* diminua com o aumento da taxa de metabolismo, esse desconforto pode ocorrer nessas atividades. Esses autores propõem diferentes alterações no modelo recomendado pela ISO 7730 (1994) para adequá-lo à estimativa dos insatisfeitos devido ao *draught* em atividades não sedentárias.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, Atlanta. (1981) *ASHRAE 55*; thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, Atlanta. (1992) *ASHRAE 55*; thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE-Handbook of Fundamentals*. Atlanta, 1997. 1v. cap. 8: Physiological Principles for Comfort and Health. p. 8.3 - 8.4.
- BATURIN, V.V. *Fundamentals of Industrial Ventilation*. 3 ed. New York: Pergamon Press, 1972. p. 316.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. (1984) *ISO 7730*; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. (1994) *ISO 7730*; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva.
- FANGER, O.; OSTERGAARD, J. OLESEN, S.; MADSEN, T. L. (1974) The effect on man's comfort of a uniform air flow from different directions. *ASHRAE Transactions*, v. 80, part 2.
- FANGER, O.; CHRISTENSEN, N. K. (1986). Perception of draught in ventilated spaces. *Ergonomics*, v. 29. n° 2.
- FANGER, O; MELIKOV, A. K.; HANZAWA, H.; RING, J. (1988) Air turbulence and sensation of draught. *Energy and Buildings*. v.12.
- FOUNTAIN, M.; ARENS, E.; DE DEAR, R.; BAUMAN, F.; MIURA, K. (1994) Locally controlled air movement preferred in warm isothermal environments. *ASHRAE Transactions*, v. 100, part 2.
- GRIEFAHN, B.; KÜNEMUND, C.; GEHRING, U. (2001) Annoyance caused by draught: The extension of the draught-rating model (ISO 7730). In: Moving Thermal Comfort Standards into 21st Century, Windsor, U. K. Proceedings... Oxford Brookes University. p. 135-145.

- HANZAWA, H.; MELIKOW, A.K.; FANGER, P.O. (1987) Airflow characteristics in the occupied zone of ventilated spaces. *ASHRAE Transactions*, v.93, part 1.
- JONES, B.W.; HSIEH, K.; HASHINAGA, M. (1986) The effect of air velocity on thermal comfort at moderate activity levels. *ASHRAE Transactions*, v. 92, part 2B.
- MCINTYRE, D. A. (1978) Preferred air speeds for comfort in warm conditions. *ASHRAE Transactions*, v. 84, part 2.
- OLESEN, S.; BASSING, J.J.; FANGER, O. (1972) Physiological comfort conditions at sixteen combinations of activity, clothing, air velocity and ambient temperature. *ASHRAE Transactions*, v. 78, part 2.
- ROHLES, F., WOODS, J., NEVINS, R. (1974) The effects of air movement and temperature on the thermal sensations of sedentary man. *ASHRAE Transactions*, v. 80, part 1.
- ROHLES, F.H.; KONZ, S.A.; JONES, B.W. (1983) Ceiling fans as extenders of the summer comfort envelope. *ASHRAE Transactions*, v.89, part 1.
- SCHEATZLE, D.G.; WU, H.; YELLOTT, J. (1989) Extending the summer comfort envelope with ceiling fans in hot, arid climates. *ASHRAE Transactions*, v. 95, part 1.
- TANABE, S.; KIMURA, K. (1987) Thermal comfort requirements under hot and humid conditions. In: *Proceeding of the First ASHRAE for East Conference on Air Conditioning in Hot Climates*, Singapore.
- THORSHAUGE, J. (1982) Air velocity fluctuations in the occupied zone of ventilated spaces. *ASHRAE Transactions*, v. 88, part 2.
- TOFTUM, J. (1994). Traekgener i det industrielle arbejdsmiljø. Licentiatforhandling, laboratoriet for varme-og klimateknik, Danmarks Tekniske Universitet (Draught complaints in the industrial work environment), pp 1-100.