



**ENTAC2006**

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO E DESCONFORTO LOCAL PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIO UTILIZANDO MANEQUIM**

**Victor B. Felix (1); Marcelo L. Pereira (2); Arlindo Tribess (3);**

(1) Departamento de Engenharia Mecânica – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil  
e-mail: [victor.felix@poli.usp.br](mailto:victor.felix@poli.usp.br)

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – CEFETSC, Brasil  
e-mail: [marcelo@sj.cefetsc.edu.br](mailto:marcelo@sj.cefetsc.edu.br)

(3) Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, Brasil  
e-mail: [atribess@usp.br](mailto:atribess@usp.br)

### **RESUMO**

**Proposta:** O movimento do ar no interior de um ambiente tem grande influência na sensação de conforto térmico e desconforto local das pessoas. O tipo de sistema de condicionamento de ar utilizado influencia significativamente a forma como o ar irá se movimentar neste ambiente. Para avaliar os efeitos desta movimentação do ar nas trocas de calor entre as pessoas e o ambiente e, por conseguinte, na sensação de conforto térmico e desconforto local, a forma mais apropriada de se fazer isto em ambientes não homogêneos é por meio da utilização de manequins. No presente trabalho foram realizados levantamentos experimentais e a análise das condições de conforto térmico e desconforto local utilizando manequim com sensores térmicos. **Método de pesquisa/Abordagens:** As medições foram realizadas em uma câmara de teste com área de 34,8 m<sup>2</sup> que reproduz, em escala, as reais características de ambientes de escritório com condições controladas, dotada de diferentes tipos de sistemas de condicionamento de ar. Foram realizadas medições de variáveis ambientais e de temperaturas superficiais (“pele”) de manequim com sensores térmicos distribuídos em 16 regiões do corpo. As condições de conforto térmico e desconforto local foram avaliadas para os seguintes tipos de sistema de condicionamento de ar: insuflamento pelo teto e retorno pelo teto, insuflamento pelo teto e retorno lateral, insuflamento pelo piso e retorno pelo teto, e sistema tipo *split*. **Resultados:** Foram verificadas variações bastante significativas entre os resultados de condições de conforto térmico e desconforto local para os diferentes sistemas de insuflamento utilizados. **Contribuições/Originalidade:** Os resultados obtidos são importantes na fase de projeto e definição do sistema de ar condicionado a ser utilizado para obtenção de condições adequadas de conforto térmico em ambientes de escritórios. A utilização de manequins com sensores térmicos permite a obtenção de um grau de detalhamento de condições de conforto térmico e, principalmente, de desconforto local que não se consegue obter por meios convencionais de medição somente das variáveis ambientais.

Palavras-chave: conforto térmico, ar condicionado, comparação entre sistemas de condicionamento de ar.

### **ABSTRACT**

**Proposal:** The movement of the air inside an environment has great influence in the sensation of thermal comfort and the people’s local discomfort. The type of air conditioning system influences significantly the form as the air will move in these environments. To evaluate the effects of this air movement in the heat changes between the people and the environment and, consequently, in the sensation of thermal comfort and local discomfort, the most appropriate form in no homogeneous environments is through the use of mannequins. In the present work experimental data and the analysis of the conditions of thermal comfort and local discomfort were accomplished using a mannequin with thermal sensors. **Research**

**method/Approach:** The measurements were accomplished in a test chamber with area of 34,8 m<sup>2</sup> that reproduces, in scale, the actual characteristic of office environments with controlled conditions, endowed with different types of air conditioning systems. Measurements of environmental variables and superficial temperatures ("skin") were accomplished using a mannequin with thermal sensors distributed in 16 segments of the body. The conditions of thermal comfort and local discomfort were evaluated for the following types of air conditioning systems: conventional ceiling air supply system (ceiling air return), ceiling air supply with lateral air return, underfloor air supply (ceiling air return) and split system. **Results:** Quite significant variations were verified between the results of thermal comfort conditions and local discomfort for the different air supply systems. **Contributions/Originality:** The results presented in the present paper are important in the project phase and definition of the air conditioning system to be used for obtaining appropriate conditions of thermal comfort in office environments. The use of mannequins with thermal sensors allows the obtaining of more detailed thermal comfort conditions and, mainly, of local discomfort conditions that will be impossible to obtain for conventional means only by the measurement of environmental variables.

Keywords: Thermal comfort, air conditioning, comparison between HVAC.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Conforto térmico em ambientes de escritórios

Hoje em dia as pessoas passam grande parte de sua vida em ambientes fechados, sejam em casa ou no trabalho, sujeitas às condições destes ambientes. Muitos destes ambientes apresentam características inadequadas ao uso e uma má qualidade do ar interior, ocasionando desconforto, problemas de saúde e perda de produtividade do trabalhador (MELHADO e BEYER, 2004). Os edifícios de escritórios, um dos setores mais dinâmicos da indústria da construção civil, são bastante representativos nas mudanças dos cenários urbanos como consequência da globalização econômica. Nos edifícios de escritórios trabalham cerca de 2/3 dos empregados do setor terciário, que passam grande parte de seu tempo sujeitos a implicações relativas ao conforto e produtividade (LEITE, 2003).

As condições de conforto térmico e desconforto local em ambientes internos estão diretamente relacionadas com a forma em que o ar se movimenta no interior do ambiente e o tipo de sistema de ar condicionado utilizado tem forte influência no escoamento do ar no interior do ambiente.

Normalmente, os ambientes de escritório podem ser considerados ambientes homogêneos e neste caso a avaliação de condições de conforto térmico e desconforto local é realizada segundo os critérios de conforto de Fanger (1972) e nas normas ISO 7730:1994 e ASHRAE 55:2004. Mas dependendo do tipo de sistema de ar condicionado utilizado no ambiente pode-se encontrar gradientes significativos de temperaturas e velocidades do ar. Ramos *et al.* (2004) apresentam resultados de avaliação de condições de conforto térmico para o sistema de ar condicionado tipo *split*, que mostram que o sistema *split* propicia velocidades mais altas em relação ao sistema de ar condicionado pelo teto, ultrapassando os limites de velocidade preconizados pelas normas ISO 7730:1994 e ASHRAE 55:2004 em algumas situações e locais do ambiente.

Existem vários estudos com relação às condições de conforto térmico em ambientes utilizando o sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso e retorno pelo teto, podendo ser destacado o trabalho de Leite (2003), onde a autora apresenta um estudo detalhado da influência deste sistema nas condições de conforto térmico. Existem também trabalhos como o de Okuyama *et al.* (2005) em que os autores apresentam resultados de estudo comparativo entre o sistema de insuflamento pelo teto e pelo piso.

## **1.2 Avaliação de conforto térmico utilizando manequins**

A avaliação de condições de conforto térmico pode ser realizada utilizando-se manequins térmicos, manequins com sensores aquecidos e até mesmo manequins que não passam de pedaços de madeira reproduzindo o corpo humano, dotados de sensores, os *sticks* (ISO 14505-2:2004).

O primeiro manequim térmico foi construído pelo exército norte-americano na década de 1940. O manequim não tinha forma humana. Era um cilindro de cobre composto por um aquecedor interno e um ventilador para distribuição do calor (Belding, 1949; Nilsson, 2004). Mais tarde Belding (1949) construiu um novo manequim que era composto por um sistema de circuitos elétricos que tinha como principal característica a mudança da temperatura da superfície das mãos e dos pés independentemente da temperatura da superfície do resto do corpo do manequim.

Os manequins térmicos foram originalmente desenvolvidos para se medir a isolamento de roupas, mas são muito utilizados para se medir as condições de conforto em ambientes com condições climáticas não uniformes, como por exemplo, em veículos automotivos.

Existem basicamente três tipos de sistemas de aquecimento para os manequins, sendo que a diferença está na localização dos elementos para o aquecimento; podendo estar na superfície externa do manequim, na superfície interna do manequim e dentro do corpo do manequim. Embora cada sistema tenha suas vantagens e desvantagens, neste trabalho será utilizado manequim com o elemento de aquecimento na superfície externa. A vantagem deste método de medição utilizando manequim é o menor tempo de resposta dos sensores aquecidos em comparação com um manequim aquecido (TANABE *et al.*, 1994).

Manequins também estão sendo utilizados para avaliação de condições de conforto térmico em ambientes cirúrgicos (CASSEY, 2004; FELIX *et al.*, 2005; OKUYAMA, 2005). Os manequins são utilizados tanto para a avaliação das condições de conforto quanto para a avaliação do efeito da temperatura superficial na hipotermia de pacientes.

## **2 OBJETIVO**

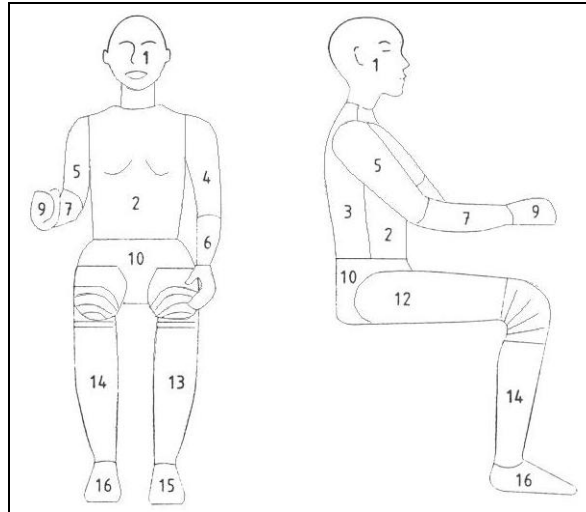
Este trabalho tem como objetivo fazer uma comparação nos efeitos do movimento do ar, devido aos vários tipos de sistemas de ar condicionado utilizados, nas condições de conforto térmico e desconforto local em ambientes de escritório. Para tal foi utilizado um manequim com sensores aquecidos, que representam as trocas térmicas entre as diversas partes do corpo de uma pessoa e o ambiente.

## **3 MÉTODO DE TRABALHO**

### **3.1 Avaliação de conforto térmico utilizando manequim com sensores aquecidos**

A avaliação de condições de conforto térmico e desconforto local foi feita utilizando um manequim com sensores aquecidos e o conceito de temperatura equivalente, que consiste na “temperatura uniforme de um ambiente imaginário com velocidade do ar igual a zero, no qual a pessoa troca a mesma quantidade de calor sensível, por radiação e convecção, que no ambiente real (ISO 14505-2:2004).

O manequim é composto por 16 sensores, que representam 16 partes do corpo, distribuídos como mostrado na figura 1. O manequim foi vestido com roupas que possuem uma resistência térmica de 0,6 clo (0,0093 m<sup>2</sup> °C/W) e em cada parte do corpo do manequim o fluxo de calor foi mantido em torno de 70 W/m<sup>2</sup>, que representa o metabolismo de uma pessoa em atividade de escritório.



**Figura 1 – Manequim com 16 segmentos (ISO 14505-2; 2004).**

Inicialmente foi realizado o processo de calibração do manequim em um ambiente homogêneo, de acordo com a norma ISO 14505-2: 2004. O processo de calibração é realizado com o propósito de se determinar o coeficiente de troca de calor para cada parte do corpo do manequim, segundo a equação 1.

$$h_{cal} = \frac{q_t''}{t_s - t_{eq}} \quad (1)$$

onde:

$t_{eq}$  = temperatura equivalente (°C);

$t_s$  = temperatura superficial do sensor do manequim (°C);

$q_t''$  = fluxo de calor do sensor do manequim (W/m<sup>2</sup>);

$h_{cal}$  = coeficiente de transferência de calor calibrado (W/m<sup>2</sup>K).

O procedimento de calibração foi desenvolvido na câmara de testes, apresentada no item 3.2 (figura 2), utilizando o sistema de distribuição de ar pelo piso, sob condições constantes no ambiente. Essas condições foram: velocidade do ar  $V_{ar} < 0,1$  m/s (aproximadamente 0,03 m/s) com temperaturas do ar e das superfícies das paredes e mobiliário mantidas em 24 °C, ou seja, com temperatura equivalente,  $t_{eq}$ , igual a 24°C (ISO 14505-2:2004). Cada parte do corpo do manequim foi submetida a um fluxo de calor de 70 W/m<sup>2</sup>. Para poder ser calculado o coeficiente de troca de calor calibrado  $h_{cal}$  foi medida a temperatura superficial para cada parte do corpo do manequim. Os valores de  $h_{cal}$  serão utilizadas para determinar as temperaturas equivalentes,  $t_{eq}$ , nas condições de ensaio com os diferentes sistemas de ar condicionado..

### 3.2 Procedimentos de ensaio

As medições foram realizadas em uma câmara de teste com área de 34,8 m<sup>2</sup> que reproduz, em escala, as reais características de ambientes de escritório com condições controladas, dotada de diferentes tipos de sistemas de condicionamento de ar (figura 2). A câmara de teste é composta por um painel de lâmpadas, que simula os efeitos do sol na superfície envidraçada de uma edificação, computadores, cilindros aquecidos para simular pessoas no ambiente (simuladores). O *layout* é idêntico ao de ambientes de

escritório reais. A temperatura do ambiente foi controlada e mantida em torno de 24 °C no centro geométrico da sala, com umidade relativa em torno de 50%. Nos ensaios foram utilizadas: quatro fontes internas de calor representando os usuários do ambiente, com cargas nominais de 480W, iluminação da sala com carga de 500W; radiação solar simulada por painel de lâmpadas com carga igual a 3200 W e equipamentos (microcomputadores/sistemas de aquisição) com carga em torno de 200W, num total de 4380 W (aprox. 126 W/m<sup>2</sup>).

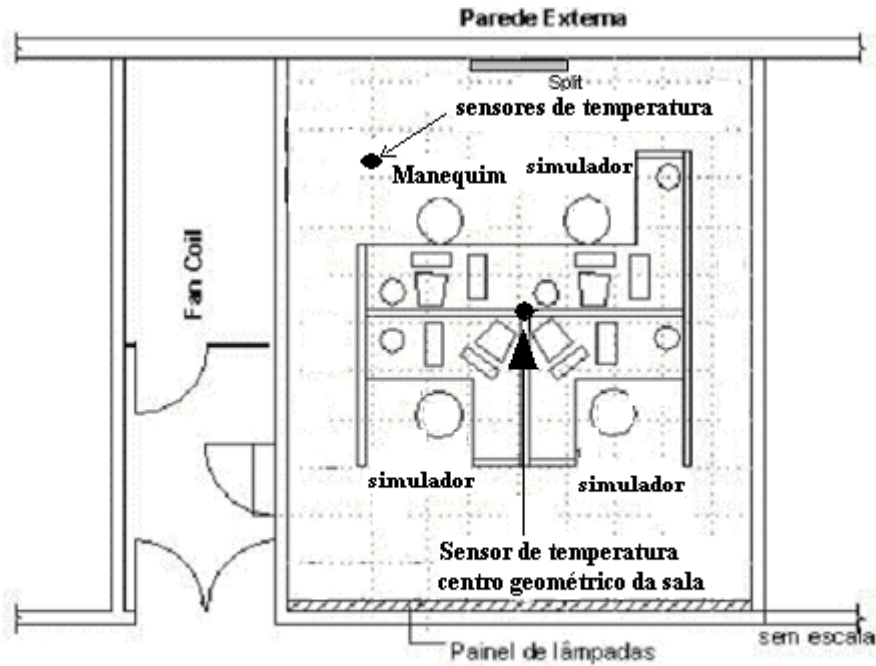


Figura 2 – Planta baixa da câmara de testes e disposição do manequim e simuladores.

As condições de conforto térmico e desconforto térmico local foram avaliadas para os seguintes tipos de sistema de condicionamento de ar: insuflamento pelo teto e retorno pelo teto, insuflamento pelo teto e retorno lateral, insuflamento pelo piso e retorno pelo teto, e sistema tipo *split*. Para todos os sistemas a posição, a vestimenta e o fluxo de calor do manequim (metabolismo) foram os mesmos.

Como citado anteriormente foi feita inicialmente a calibração do manequim. Depois de levantados todos os valores dos coeficientes de troca de calor  $h_{cal}$  utilizando a equação 1, o manequim foi colocado sentado em uma estação de trabalho (figura 2), com a mesma vestimenta (0,6 clo) e o mesmo fluxo de calor (70 w/m<sup>2</sup>) representando uma pessoa em atividade de escritório. Essas condições foram repetidas para cada tipo de sistema e foi medida a temperatura superficial para cada parte do corpo do manequim em condições de regime permanente. Para calcular a temperatura equivalente  $t_{eq}$  foi utilizado a equação 2 (Nilsson, 2004; Gomes, 2005; Felix *et al*, 2005).

$$t_{eq} = t_s - \frac{q_t''}{h_{cal}} \quad (2)$$

Foram medidos valores de temperaturas do ar em diferentes alturas no ponto apresentado na figura 2, próximo ao manequim. Os sensores foram colocados nas seguintes alturas: 0,1m; 0,6m; 1,1m; 1,7m.

Em todos os testes as características técnicas da instrumentação utilizada e os procedimentos foram realizados segundo as especificações das normas ISO 7726:1998 e ISO 14505-2:2004.

#### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Figura 3 são apresentados os perfis de temperatura do ar em função da altura para cada tipo de sistema utilizado. Os sensores foram colocados próximos ao manequim sentado junto à estação de trabalho.

Analisando os resultados da figura 3 tem-se que:

- Os perfis de temperatura para os sistemas de insuflamento pelo teto e retorno pelo teto (sistema convencional pelo teto) e insuflamento pelo teto e retorno lateral foram semelhantes, não apresentando grandes variações nas temperaturas; o que é característico destes sistemas definidos como sendo de mistura. Resultados similares também foram verificados por Okuyama *et al* (2005) na avaliação com sistema com insuflamento convencional pelo teto.
- No perfil de temperatura avaliado para o sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso e retorno pelo teto percebe-se a estratificação das temperaturas do ar, característica deste sistema. Resultados similares foram obtidos por Leite (2003) e Okuyama *et al* (2005).
- O sistema tipo *split* foi o que apresentou as temperaturas mais próximas da temperatura do sensor no centro geométrico da sala (24°C), diferente dos outros sistemas que apresentaram nessa região temperaturas mais baixas; função do tipo de escoamento com maiores velocidades deste tipo de sistema (Ramos et al., 2005).

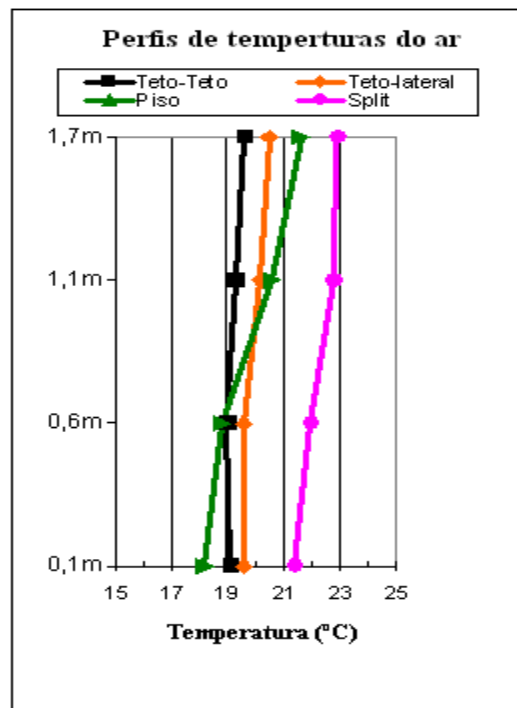
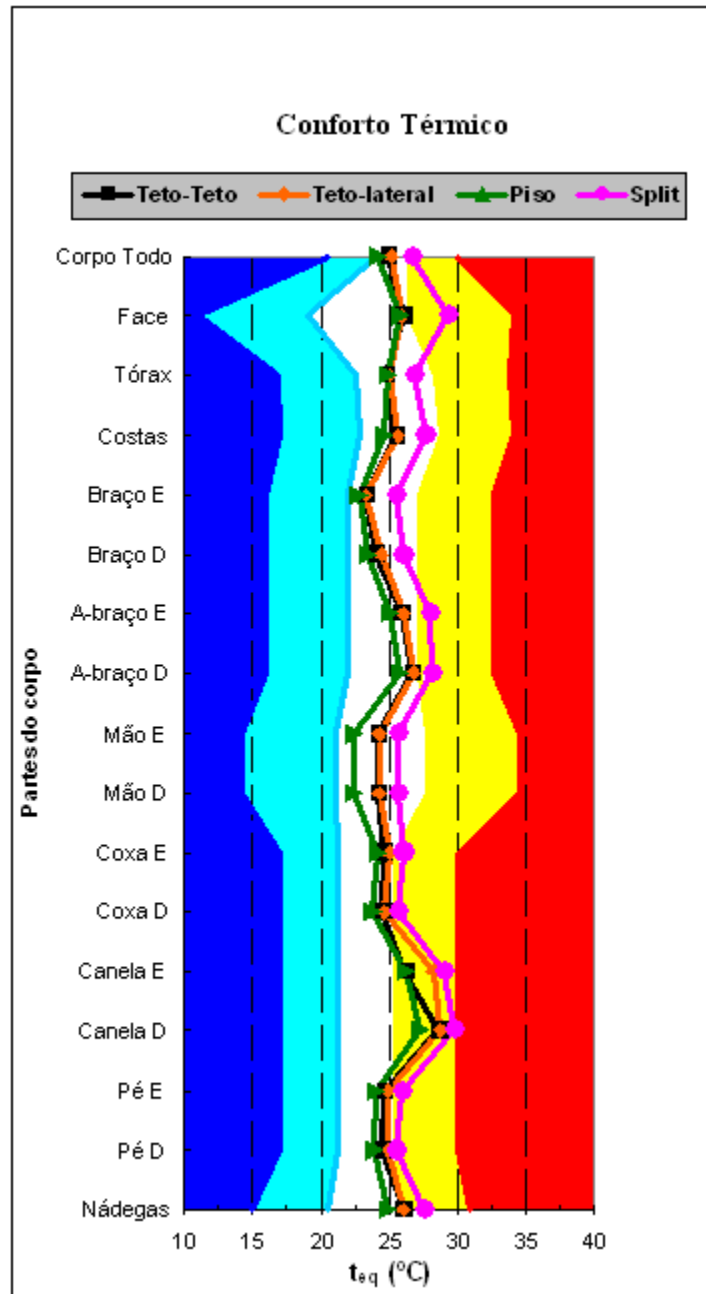


Figura 3 – Perfis de temperatura em função da altura.

Para se avaliar as condições de conforto térmico e desconforto local foi utilizado o diagrama com as regiões que representam as sensações térmicas para condições de verão, apresentando os limites de

temperaturas equivalentes para cada parte do corpo e para o corpo como um todo (ISO 14505-2:2004; Nilsson, 2004; Felix *et al.*, 2005; Gomes, 2005).

Na Figura 4 são apresentados os resultados de temperaturas equivalentes obtidas com os diferentes sistemas de ar condicionado. Neste diagrama as sensações térmicas representadas são: muito frio/desconfortável (região azul escuro), frio, mas confortável (região azul claro), neutro confortável (região branca), quente, mas confortável (região amarela) e muito quente/desconfortável (região vermelha).



**Figura 4 – Perfis de temperaturas equivalentes ao longo do corpo do manequim.**

Analisando-se os resultados da figura 4 verifica-se que:

- Os resultados dos valores de temperaturas equivalentes para os ensaios realizados com os sistemas de insuflamento pelo teto e retorno pelo teto e insuflamento pelo teto e retorno lateral foram bem semelhantes, não havendo diferenças significativas. Nos dois ensaios grande parte das regiões do corpo se manteve na região neutra de conforto (cor branca), sendo que a análise do corpo como um todo pode ser considerado em estado de conforto térmico. Apenas algumas regiões do corpo como as canelas, coxas e pés se mantiveram na região quente, mas confortável (cor amarela).
- Os resultados para o sistema de insuflamento pelo piso e retorno pelo teto mostram que este sistema foi o que possibilitou as melhores condições de conforto térmico, apresentando poucas regiões do corpo fora da região neutra de conforto térmico.
- O sistema *split* foi o que apresentou os piores resultados na avaliação das condições de desconforto térmico local, apresentando grande parte das regiões do corpo fora da região neutra do diagrama, fazendo com que a avaliação de conforto do corpo como um todo resulte na região de quente, mas ainda confortável.

## 5 CONCLUSÕES

Analisando os resultados conclui-se que:

- A utilização do manequim e o conceito de temperatura equivalente para a avaliação de condições de conforto térmico e desconforto local mostrou ser uma ferramenta muito útil que facilita a visualização das sensações térmicas em diferentes partes do corpo.
- O sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso e retorno pelo teto apresentou os melhores resultados, além de propiciar condições de conforto térmico a temperaturas mais elevadas (já apresentado por outros autores). Mesmo apresentando estratificação de temperatura, esta estratificação não influenciou significativamente nas condições gerais de conforto térmico..
- Os sistemas de ar condicionado com insuflamento pelo teto e retorno pelo teto e insuflamento pelo teto e retorno lateral apresentaram bons resultados, sendo que não houve diferenças significativas entre eles, propiciando condições de conforto térmico nos dois casos.
- Analisando os resultados dos testes feitos para o sistema de ar condicionado tipo *split*, verifica-se que o sistema não proporciona as melhores condições de conforto térmico, não sendo recomendado para ambientes de escritórios, onde a permanência dos ocupantes é por um tempo maior. Mesmo o sistema tipo *split* tendo a vantagem de realizar uma troca de calor mais rápida, devido a maiores velocidades no ambiente, este sistema somente deve ser recomendado em locais onde o tempo de permanência dos ocupantes seja pequeno.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELDING, H. **Protection against dry cold. Physiology of heat regulation and science of clothing**, WB Saunders Company, 1949. pp 351-367.

CASSEY, J., STREZOV, V.; ARMSTRONG, P.; FORSYTH, R.; LUCAS, J.; JONES, B.; FARREL, P. **Influence of control variables on mannequin temperature in a pediatric operating theatre**. Pediatric Anesthesia, 14: 130-134. 2004.



GOMES, A. B. **Avaliação experimental de condições de conforto térmico em automóveis de passeio utilizando manequim.** Trabalho de conclusão de curso (mestrado profissionalizante) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 54 p. São Paulo.

ISO 7726 . **“Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities”.** International Standards Organization, 1985. Geneva.

ISO 14505-2. **“Ergonomics of the thermal environment – Evaluation of thermal environment in vehicles: Part 2- Determination of equivalent temperature.”** International Standards Organization, 2004. Geneva.

LEITE, B. C. C. **Sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso em ambientes de escritórios: Avaliação do conforto térmico e condições de operação.** Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. 162 p.

MELHADO, M.A.; BEYER, P.O. **Avaliação do conforto térmico em salas cirúrgicas.** Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul. Anais do MERCOFRIO 2004 (CD-ROM).

MENDES Jr. C. G. **Levantamento dos parâmetros de conforto térmico em ambientes de escritório com insuflamento de ar frio pelo piso,** Relatório de Iniciação Científica, PIBIC/CNPq., 2002.

NILSSON, H. O. **Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models.** PhD. Thesis. Royal Institute of Technology. University of Gävle, Sweden, 2004. 212p.

OKUYAMA, C. D. **Estudo comparativo de condições de conforto térmico em ambientes de escritório com insuflamento de ar frio pelo piso e pelo teto.** Iniciação Científica. FAPESP, 2004.

TANABE, S.; ZHANG, H.; ARENS, E. A.; MADSEN, T. L.; BAUMAN, F. S. **Evaluating thermal environments by using a thermal manikin with controlled skin surface temperature.** ASHRAE Trans., 100: 39-48. 1994