XII ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
VIII ELACAC Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Cons
BRASÍLIA | 25 a 27 de setembro de 2013

ARQUITETURA DE DISTRIBUIÇÃO DE AR EM CABINES DE AERONAVES: ANÁLISE EXPERIMENTAL DE DESCONFORTO TÉRMICO LOCAL

Evandro Souza da Silva (1); Douglas Fabichak Junior (2); Arlindo Tribess (3)
(1) Engenheiro Mecânico, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, evandrosouzadasilva@yahoo.com.br
(2) Engenheiro Mecânico, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, douglasfabichak@gmail.com
(3) Livre Docente, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, atribess@usp.br
Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Conforto Térmico, AV. Prof. Mello Morais, 2231 – Butantã, São Paulo – SP, CEP 05508-900, Tel.: (11) 3091-5687

RESUMO

O estudo do sistema de distribuição de ar em cabine de aeronaves é importante para criar um ambiente confortável e saudável para os usuários do transporte aéreo. O presente estudo investigou a proposta de uma nova arquitetura de distribuição de ar com insuflamento pelo piso e retorno pela parte superior de um mock-up instrumentado e ocupado por manequins térmicos, simulando a carga térmica de vôos comerciais. Os campos de temperatura e velocidade do ar, bem como os riscos de corrente de ar foram medidos com sondas omnidirecionais para duas temperaturas de insuflamento de ar, 18 °C e 22 °C, condições de verão e inverno, respectivamente. Os resultados mostraram que embora haja uma região crítica para essa arquitetura de distribuição de ar, região do corredor, área de insuflamento, essa nova arquitetura pode ser empregada com sucesso em cabines de aeronaves. O estudo também mostrou que essa nova arquitetura de distribuição de ar não apresenta estratificação de temperatura conforme ocorre em edificações.

Palavras-chave: desconforto térmico, correntes de ar, insuflamento pelo piso

ABSTRACT

The study of air distribution system in aircraft cabin is important to create a healthy and comfortable environment for air transport users. The present study investigated a new proposal of air distribution architecture with underfloor air distribution and return at ceiling level of a mock-up and it was occupied by instrumented thermal manikins, simulating the thermal load of commercial flights. The temperature and air velocity fields, as well as the draught risk were measured with omndirectional probes for two supply air temperature, 18 ° C and 22 ° C, summer and winter season, respectively. The results showed that although there is a critical region for that air distribution architecture, aisle region, inlet air area, this new architecture can be successfully employed in aircraft cabins. The study also showed that this new architecture distribution presents no air temperature stratification as occurs in buildings.

Keywords: thermal discomfort, draught, underfloor air distribution

1 INTRODUÇÃO

O ambiente de um avião comercial é diferente de qualquer outro tipo de ambiente comumente ocupado por pessoas. Para o usuário do transporte aéreo, o ambiente interno de uma cabine de avião deve ser confortável e saudável. O sistema de distribuição de ar é um dos mais importantes componentes do sistema de controle ambiental na correta distribuição de ar tratado para prover essas condições de saúde e de conforto em cabines. Atualmente, o sistema de distribuição de ar comumente utilizado em cabines de aeronaves consiste no insuflamento de ar condicionado na parte superior a alta velocidade e retorno na parte inferior lateral com mistura do ar na cabine – *Mix Ventilation* - MV. Embora a temperatura na cabine seja uniforme, este sistema, tem apresentado problemas de conforto térmico e pode, devido à sua característica de mistura, espalhar rapidamente doenças infecciosas pelo ar na cabine (ZHANG e CHEN, 2007; ZHANG *et al.,2007a*).

Para propiciar conforto térmico aos ocupantes em diferentes posições nestes ambientes térmicos complexos, há a necessidade de desenvolver novos sistemas de distribuição de ar. Os sistemas de distribuição de ar por deslocamento, *Displacement ventilation* – DV (CHEN e GLICKSMAN, 2003) e sistema de ventilação pelo piso, *Underfloor air distribution* – UFAD (BAUMAN e DAYLE, 2003) têm sido utilizados com sucesso em edificações. Estes sistemas de distribuição de ar podem gerar melhores condições de qualidade do ar (ZHANG e CHEN, 2007; PEREIRA *et al.*, 2008) e de conforto térmico (BAUMAN e DAYLE, 2003; LEITE e TRIBESS, 2006). Em um sistema com insuflamento pelo piso (UFAD) ou de ventilação por deslocamento (DV) ar frio e limpo é insuflado no ambiente a partir do piso. As fontes de calor no ambiente, tais como o corpo humano, geram plumas que levam os contaminantes para cima, com exaustão ao nível do teto (LEITE e TRIBESS, 2006; PEREIRA *et al.*, 2008).

Embora os sistemas DV e UFAD possam promover melhor qualidade do ar que um sistema de distribuição de ar por mistura, estes causam estratificação de temperatura (BAUMAN e DAILY, 2003; LEITE e TRIBESS, 2006). Esta estratificação de temperatura pode causar desconforto devido às correntes de ar (*draught risk)* (ZUKOWSKI, 2007; ZHANG, LI e WANG, 2011).

Segundo a norma ASHRAE 55 (2004) "correntes de ar (*draft* ou *draught*) é um resfriamento local indesejado do corpo causado pelo movimento do ar". A sensibilidade as correntes de ar é maior em partes do corpo descobertas, especialmente na região da cabeça, pescoço e ombros e na região dos pés, tornozelos e pernas, e em atividade leve ou sedentária. Assim, a ocorrência de correntes de ar deve ser analisada principalmente na altura da cabeça e tronco das pessoas (1,10 m do piso para pessoas sentadas e 1,70 m para pessoas em pé). Se a pessoa estiver com as pernas descobertas, deve ser feita a verificação também na altura a 0,10 m do piso. Correntes de ar foram identificados como um dos dois fatores ambientais mais irritantes em estações de trabalho e o fator mais irritante em escritórios (BOLINDER *et al.*, 1970, ARBEJDSMILJØGRUPPEN, 1972 *apud* FANGER e CHRISTENSEN, 1986). As correntes de ar podem fazer as pessoas desligarem sistemas de ventilação ou fecharem os difusores de ar. Os ocupantes também podem aumentar a temperatura do ar do ambiente para reagir às correntes de ar, principalmente no período do inverno (FANGER e CHRISTENSEN, 1986).

Embora, as correntes de ar sejam a maior causa de reclamações, poucos estudos foram conduzidos a esse respeito. Zukowski (2007) propôs uma nova fórmula para determinar um valor mínimo recomendado de velocidade de insuflamento de ar em uma sala composta por uma janela com a superfície fria. Devido à diferença entre as temperaturas internas e externas à sala, um fluxo natural de convecção ao longo da janela é gerado. Para minimizar os efeitos de correntes de ar, o autor propôs um sistema de insuflamento de ar quente pelo piso (UFAD), através de difusor localizado próximo à parede onde se encontrava a janela. Na outra extremidade, lado oposto da sala, estava localizado o retorno (exaustão) do ar. Para a avaliação, o autor utilizou simulação numérica, por meio de um programa de CFD. Dez casos foram analisados em que parâmetros como temperatura externa à janela, velocidade e temperatura de insuflamento do ar foram variados. O autor concluiu que uma velocidade mínima de insuflamento de ar quente de 0,33 m/s previne os ocupantes do risco de correntes de ar. O autor também calculou a percentagem de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar para esse caso.

Gao e Niu (2007) utilizaram um código CFD para simular e avaliar o sistema de distribuição de ar padrão, ou seja, ventilação por mistura (MV), de uma cabine de aeronave 767-300. Os autores também propuseram um sistema de distribuição de ar personalizado, flexível e ajustável, no qual fornece ar fresco (2,5 L/s por pessoa) diretamente para a zona de respiração e mais 7,5 L/s por pessoa por meio de insuflamento padrão. Os autores concluíram que na maior parte da zona de ocupação (para o sistema MV), a velocidade do ar está entre 0,1 a 0,4 m/s, que é suficiente para evitar a sensação de ar estagnado e, também, a

sensação de correntes de ar. Os autores nada mencionaram a respeito da sensação de correntes de ar para o sistema personalizado.

Zhang e Chen (2007) propuseram, por meio de simulação numérica CFD, dois novos sistemas de distribuição de ar no interior de uma cabine de aeronave. O primeiro consistiu de insuflamento de ar pelo piso (UFAD) e retorno pela parte superior da cabine e o segundo de um sistema de distribuição personalizado em que metade da vazão de ar foi insuflada diretamente na zona de respiração por um dispositivo localizado na parte de traz da poltrona à frente do passageiro e a outra metade consistiu de insuflamento pelo piso. Foi notado que, no sistema personalizado, a velocidade do ar permaneceu abaixo de 0,25 m/s na região da cabeça e do peito e, portanto, era improvável que os passageiros sentissem desconforto causado pelas correntes de ar.

Zhang, Li e Wang (2011) propuseram um sistema de distribuição de ar personalizado para uma cabine de aeronave. O sistema fornece parte do ar diretamente para a zona de respiração por meio de um difusor localizado nos braços do assento e a outra parte era fornecida por um sistema de insuflamento de ar pelo piso - UFAD (região do corredor entre as poltronas). O ar contaminado é extraído por exaustores localizados acima da cabeça dos ocupantes, na região do teto. O estudo foi conduzido tanto experimentalmente como por meio de simulação numérica utilizando programa de CFD. Os autores calcularam a percentagem de pessoas insatisfeitas devido a correntes de ar utilizando o programa de CFD

As normas ASHRAE 55 (2004) e ISO 7730 (2005) definem o risco de correntes de ar como *Draught Rate* – DR e a equação é dada por:

$$DR = (34 - T_{ar})(\overline{v_{ar}} - 0{,}05)^{0{,}62}(0{,}37\,\overline{v_{ar}}\,T_u + 3{,}14) \qquad 1.1$$

Para $\overline{v_{ar}} < 0{,}05\ m/s$ utiliza-se $\overline{v_{ar}} = 0{,}05\ m/s$

Para $DR > 100\%$ utiliza-se $DR = 100\%$

A partir desse contexto, um estudo experimental em um mock-up instrumentado de doze lugares com insuflamento de ar condicionado pelo piso foi conduzido, onde os campos de velocidade e temperatura do ar foram medidos e o risco de correntes de ar foi calculado.

2 OBJETIVO

Avaliar o desconforto térmico de passageiros causado por correntes de ar em um sistema de insuflamento pelo piso de um Mock-up instrumentado com 100% de renovação de ar e temperaturas de insuflamento de 18 °C e 22°C.

3 MÉTODO

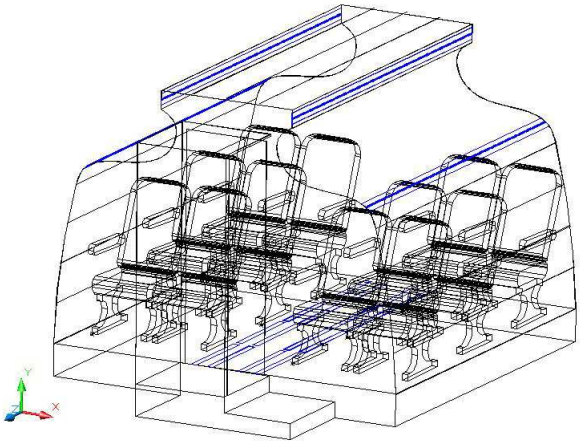
3.1 Instalações

A investigação experimental para avaliar os riscos de correntes de ar utilizando um sistema de insuflamento de ar pelo piso foi conduzida no laboratório de conforto térmico da Universidade de São Paulo que contém um mock-up instrumentado com três fileiras de quatro assentos por fileira, separadas por um corredor central, totalizando doze assentos. A Figura 3.1 representa a vista esquemática desse mock-up. O mock-up foi construído em escala real e as dimensões internas no nível do piso são de 3,00 m (direção X), 2,93 m (direção Z), enquanto a altura (direção Y) é variável, medindo no ponto mais alto, região central (corredor), 2,17 m a partir do piso. Na região central do piso foram instaladas quatro conjuntos de grelhas lineares com duas fileiras de furos de 4 mm de diâmetro cada uma para o insuflamento do ar. O sistema de exaustão estava localizado na região central superior e laterais superiores, junto ao bagageiro. No interior do mock-up foram instalados onze manequins térmicos, simulando os passageiros. Internamente, os manequins possuem resistência elétrica e ventiladores que geram uma temperatura do ar uniforme produzindo um fluxo de calor de 638 W/m² (58 W/m² por manequim). A área superficial de cada manequim é de aproximadamente 1,70 m². A iluminação no interior do mock-up é composta por duas luminárias com duas lâmpadas de 32 W cada luminária, totalizando uma carga de 128 W. A carga térmica total no interior do mock-up foi de 1212,6 W.

3.2 Sistema de ventilação

O laboratório é dotado de um sistema de ar condicionado do tipo expansão indireta, composto por *chiller* e *fan coil* de 5TR, com controlador lógico programável, CLP Siemens, modelo S7-120 , que fornecem

ar condicionado ao mock-up instrumentado. O ar condicionado é insuflado no ambiente interno do mock-up pelo piso através das grelhas lineares instaladas no corredor central. A temperatura do ar de insuflamento é monitorada e controlada através de transmissor de temperatura e umidade relativa Vaisala, modelo HMT-333, com faixa de operação entre 14 °C a 40 °C ± 0,5 °C e 50% ± 5% a 40 °C, instalado no interior dos dutos de ventilação do sistema de insuflamento, próximo as grelhas lineares. Esse transmissor de temperatura e umidade relativa do ar está ligado ao CLP e ajustado e controlado pelo programa supervisório. As temperaturas do ar de insuflamento foram ajustadas para as condições de verão, 18 ºC e inverno 22 ºC e umidade relativa de 50%. O ar foi insuflado a uma taxa de 9,4 L/s/pessoa, conforme a norma ASHRAE 161 (2007), totalizando uma vazão de 406,8 m³/h com 100% de renovação de ar. A vazão foi controlada e ajustada através de tubos de Pitot Série 160 de aço inóx e manômetros diferenciais Dwyer instalados nos dutos de retorno. Ventiladores centrífugos AXC, modelo 125B, com potência de 75 W e vazão máxima de 385 m³/h, foram instalados nos dutos de retorno para minimizar os efeitos de perda de carga do escoamento.



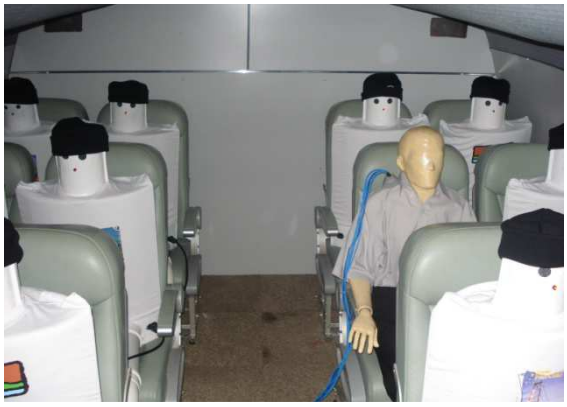


Figura 3.1 – Representação esquemática do mock-up e foto interna do mock-up com os manequins térmicos.

3.3 Instrumentos e planos de medição

A temperatura do ar, velocidade do ar e o risco de correntes de ar (*Draught Rate* – DR), foram medidos com o sistema ComfortSense da Dantec Dynamics que consiste de três mini estruturas modulares principal, 54N95, com entrada para um canal e dois drivers DAQmx da National Instruments para fazer a conexão com o computador. Foram utilizados três transdutor 54T34 que é uma sonda omnidirecional de velocidade com freqüência de resposta superior 2 Hz com sensores de temperatura integrados de resposta rápida, com intervalo de operação de 0.05 até 10 m/s e -20 °C até 70 °C, com exatidão de ± 2% ou ± 0,02 m/s e ± 0,5K, com gaiola de proteção. As temperaturas das paredes, piso, teto e manequim foram monitorados por um termômetro infravermelho da Raytek, modelo RAYMX2TDB, com faixa de operação entre -30 °C a 900 °C e exatidão de ± 0,75% da leitura ou ± 1°C o que for maior. As medidas foram conduzidas em três planos longitudinais, três fileiras 1, 2 e 3, e em cinco pontos transversais, colunas A, B, C, D e E, à três alturas distintas 0,10 m, 0,60 m e 1,10 m para os pontos simulando pessoas sentadas e, 0,10 m, 1,10 m e 1,70 m para os pontos do corredor central que simulou pessoas em pé. Totalizou-se 45 pontos de medição para cada temperatura de insuflamento (18°C e 22°C). A Figura 3.2 ilustra os planos de medição.

3.4 Procedimento experimental

A primeira parte do experimento foi conduzida com a temperatura de insuflamento em 18 °C e a segunda parte com a temperatura de insuflamento de 22 °C. Inicialmente, foi ligado o supervisório do sistema de condicionamento de ar e ajustada a temperatura de insuflamento em 18 °C e umidade relativa em 50%. Em seguida, foi ajustada a velocidade do ventilador do *fan coil* e do *plenum* (insuflamento pelo piso) para 80% da capacidade máxima. Os dutos de exaustão foram ajustados para permitir a vazão total de 406,8 m³/h com renovação de 100%, sendo 40% na região superior central e 60% na região superior lateral, região dos bagageiros. Para minimizar os efeitos de perda de carga nos dutos de exaustão, foram instalados ventiladores centrífugos e, estes foram acionados antes de iniciar o ajuste da vazão. A vazão foi checada antes e após o experimento para certifica-se que não houve perda de ajuste após a medição experimental. Um teste com fumaça foi conduzido para garantir a estanquedade tanto do mock-up como dos dutos de retorno. Os manequins foram ligados e o sistema operou por 2 horas antes de qualquer dado ser coletado. O sistema supervisório do CLP gerou um gráfico tipo senóide de temperatura x tempo, o qual ilustrou exatamente o momento de estabilização do mock-up. O termômetro infravermelho foi utilizado para medir as temperaturas

das superfícies internas do mock-up bem como a temperatura superficial dos manequins térmicos. Foram medidos seis pontos em cada superfície. Embora as temperaturas das superfícies não sejam perfeitamente uniformes, as condições térmicas de cada superfície são bem representadas pela temperatura média e desvio padrão. A Tabela 3.1 resume as temperaturas médias do presente estudo.

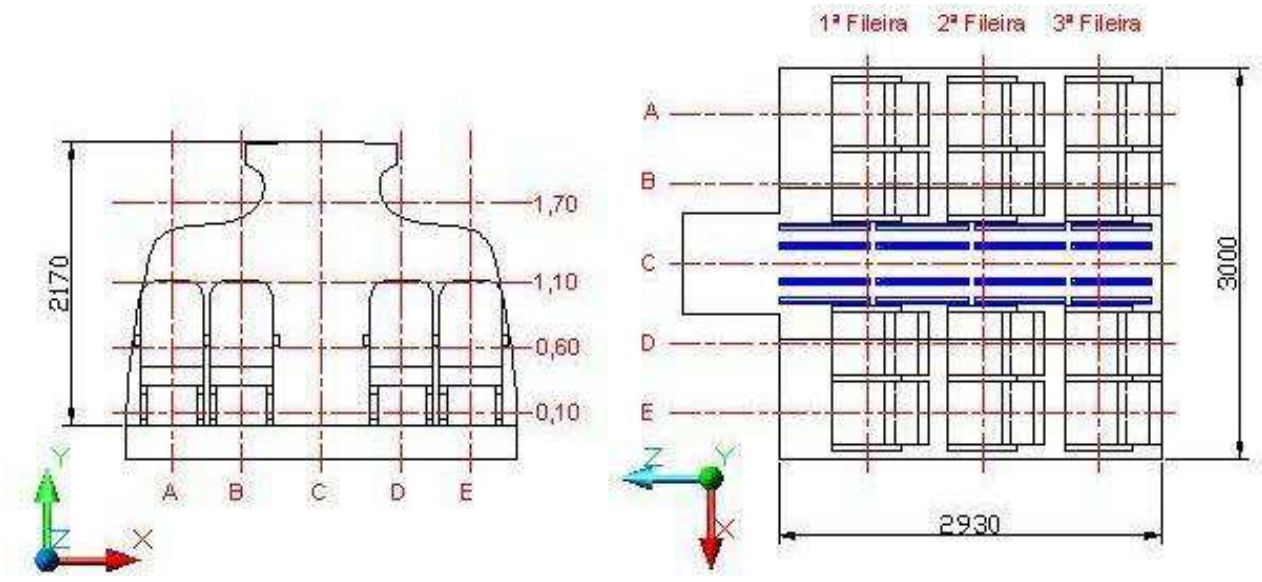


Figura 3.2 - Planos de medição experimental do mock-up instrumentado.

Tabela 3.1 – Temperatura média das superfícies internas do mock-up

Superfície	Temperatura [°C] a 18°C	Temperatura [°C] a 22°C
Teto	23 ± 1	26 ± 1
Lateral esquerda	24 ± 1	28 ± 1
Lateral direita	23 ± 1	27 ± 1
Piso	21 ± 1	25 ± 1
Fundo	21 ± 1	26 ± 1
Frente	26 ± 1	29 ± 1
Manequim	33 ± 1	33 ± 1

O estudo utilizou conjuntamente as três sondas omnidirecional para efetuar as medidas de velocidade e temperatura do ar e do risco de correntes de ar. As três sondas foram instaladas nas alturas de 0,10 m, 0,60 m e 1,10 m em um suporte móvel, tipo tripé. Um total de 600 pontos foi registrado por cada sonda, na respectiva altura de medição. Portanto, cada posição da Figura 3.2 teve 1.800 registros em 10 minutos. É importante ressaltar que as sondas medem o módulo da velocidade e não a direção do ar. O experimento também mediu a velocidade e temperatura do ar na posição 3A por um período de 30 minutos. A análise estatística dos resultados dos dois períodos de medição 10 minutos e 30 minutos dessa posição 3A não mostrou diferença significativa nos resultados. Portanto, o tempo de amostragem de 10 minutos foi suficiente. Similarmente, Zhang, *et al* (2007a) também não encontrou diferenças significativas em intervalos de tempo de 20 minutos e 4 minutos em seu estudo, onde foi adotado o período de 4 minutos como padrão. A seqüência de medição foi estabelecida da posição 3A para 1E, sendo que as posições relativas à coluna C foram medidas após a conclusão das outras posições da seqüência. Essa medida foi adotada para evitar o ajuste da sondas no suporte móvel e minimizar a perturbação do ambiente térmico do mock-up. Quando o suporte era movido de uma posição para outra, antes de efetuar a próxima medição, o sistema era estabilizado por volta de 10 minutos para evitar erros na leitura das sondas devido ao movimento. Considerando que o sistema tem 100% de renovação ar, esse período de 10 minutos é longo o suficiente.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Velocidade e temperatura do ar

A velocidade e temperatura do ar foram medidas nas quinze posições da Figura 3.2 para as temperaturas de insuflamento de 18 °C e 22°C. Os gráficos das Figuras 4.1 e 4.2 mostram os resultados da velocidade e temperatura do ar para cada posição.

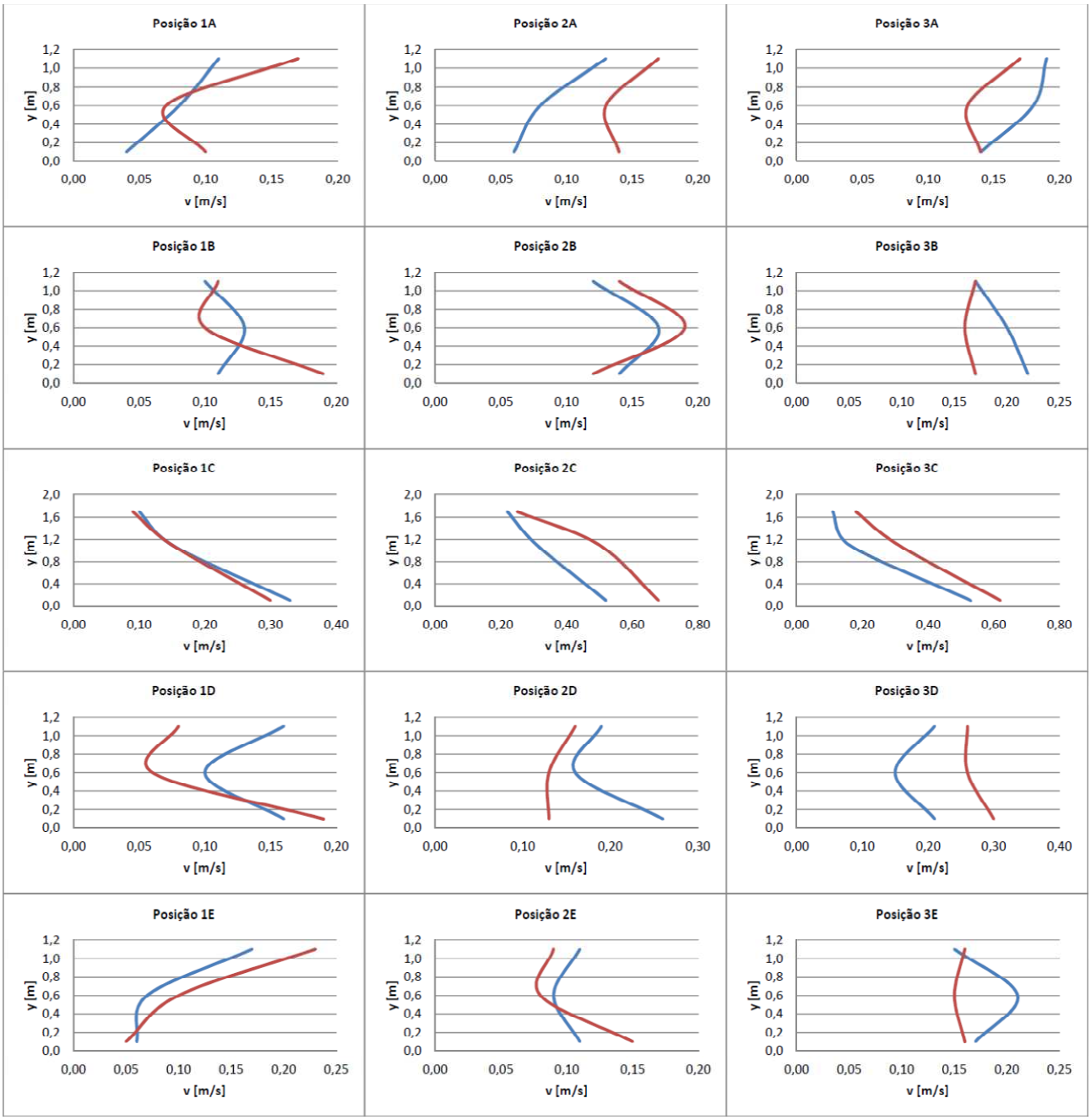


Figura 4.1 – Comparação das velocidades medidas nas quinze posições do mock-up. As linhas em azul representam a temperatura de insuflamento de 18 °C e as linhas em vermelho representam a temperatura de insuflamento de 22 °C.

A análise da Figura 4.1 mostra o padrão de velocidade de cada posição do mock-up. O padrão de velocidade não possui simetria em relação à coluna C. Enquanto a coluna D mostra uma estagnação do ar na altura de 0,60 m, pois os valores de velocidade nas alturas 0,10 m e 1,10 m são maiores em relação a essa altura (0,60 m). Isso não foi observado na coluna B, simetricamente oposta à coluna D. Essa assimetria em relação ao plano central, coluna C, provavelmente é devida às diferenças de fluxo de calor que cada manequim emitiu. Em geral, a altura de 0,60 m é a região com os menores valores de velocidade observado. Os módulos de velocidade com maior intensidade foi observado na coluna C, como era esperado. O módulo de velocidade diminuiu gradativamente em relação à altura nessa coluna, conforme se pode observar nas posições 1C, 2C e 3C. As diferenças entrem os módulos de velocidade da posição 1C para as posições 2C e

3C é devida a entrada de passageiros do mock-up e aos efeitos de parede no escoamento. A região a frente da posição 1C, não possuía grelhas lineares de insuflamento e como resultado, o módulo da velocidade é menor em relação às posições 2C e 3C. Embora a posição 3C, também não possuía grelhas lineares atrás dessa posição, o efeito da parede contribuiu para os valores encontrados. As regiões mais críticas em relação ao módulo de velocidade é a região central, coluna C, na altura de 0,10 m.

O campo de temperatura também foi mensurado nas quinze posições da Figura 3.2. A temperatura do ar para as quinze posições está ilustrada na Figura 4.2.

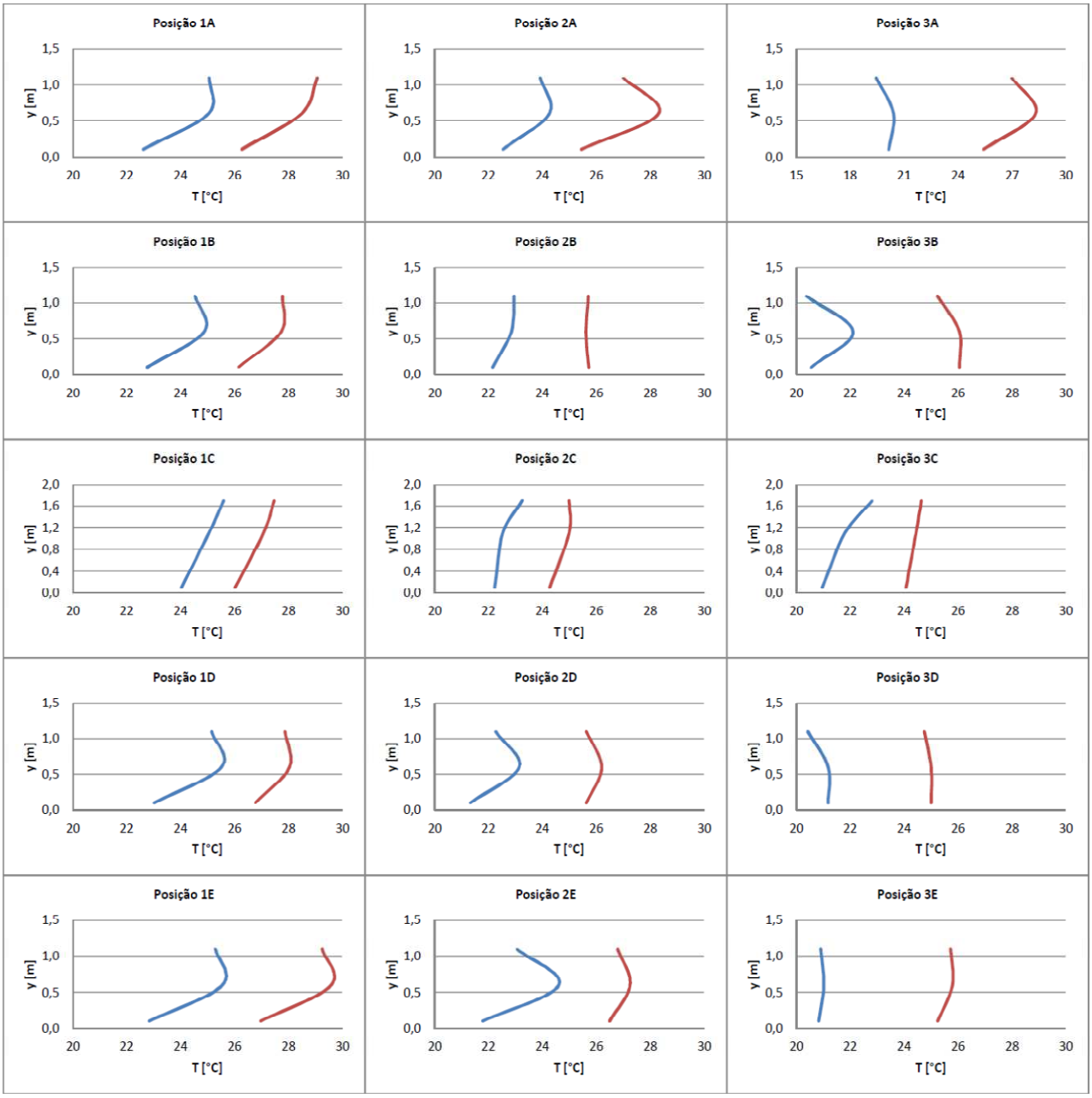


Figura 4.2 - Comparação das temperaturas medidas nas quinze posições do mock-up. As linhas em azul representam a temperatura de insuflamento de 18 °C e as linhas em vermelho representam a temperatura de insuflamento de 22 °C.

A análise da Figura 4.2 permite concluir que a altura de 0,6 m apresenta temperaturas superiores as alturas de 0,10 m e 1,10 m. Essas temperaturas são devidas à região de estagnação do ar ou recirculação que a geometria dessa altura permite observar. Não há como concluir que realmente existe estagnação do ar, pois não foi mensurada a direção do fluxo de ar. Essa observação é plausível, haja vista que a velocidade na altura de 0,60 m da posição 2B, tanto para a temperatura de insuflamento de 18 °C como para a temperatura de insuflamento de 22 °C apresentou intensidade superior às alturas de 0,10 m e 1,10 m nessa mesma posição. A temperatura na altura de 1,10 m é menor do que a altura de 0,60 m, provavelmente devido à pluma térmica que o corpo humano produz. Para o campo de temperatura, pode-se notar certa simetria em relação à região

central do mock-up, coluna C. A coluna C é a região que apresenta a menor diferença de temperatura entre as alturas, como era esperado. Essa diferença é minimizada em virtude de dois fatores principais, a saber: efeitos da parede e a arquitetura de ar proposta, insuflamento pelo piso. Embora se possa observar que existe uma diferença de temperatura do ar entre as alturas dos pés (0,10 m) e a altura da cabeça (1,10 m e 1,70m, pessoas sentadas e pessoas em pé, respectivamente), essa diferença não é suficiente para considerar que existe uma estratificação da temperatura no interior do mock-up. A norma ASHRAE 55 (2004) estabelece que para um percentual de 20 % de pessoas insatisfeitas a diferença de temperatura entre os pés e a cabeça deve ser aproximadamente 5 °C. As maiores diferenças de temperatura entre as alturas dos pés e cabeça foram de aproximadamente 2 °C, o que segundo a norma, dá um percentual de 3 % de pessoas insatisfeitas.

4.2 Risco de correntes de ar

As Figuras 4.3 e 4.4 mostram o percentual de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar para as temperaturas de insuflamento de 18 °C e 22 °C, respectivamente.

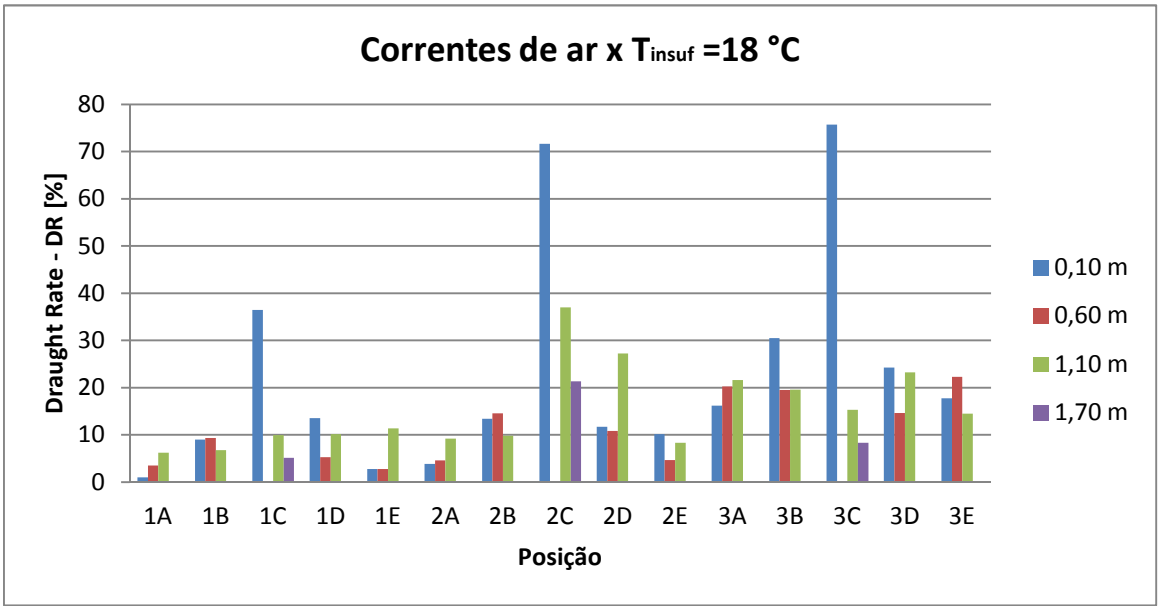


Figura 4.3 – Risco de correntes da ar para temperatura de insuflamento de 18 °C.

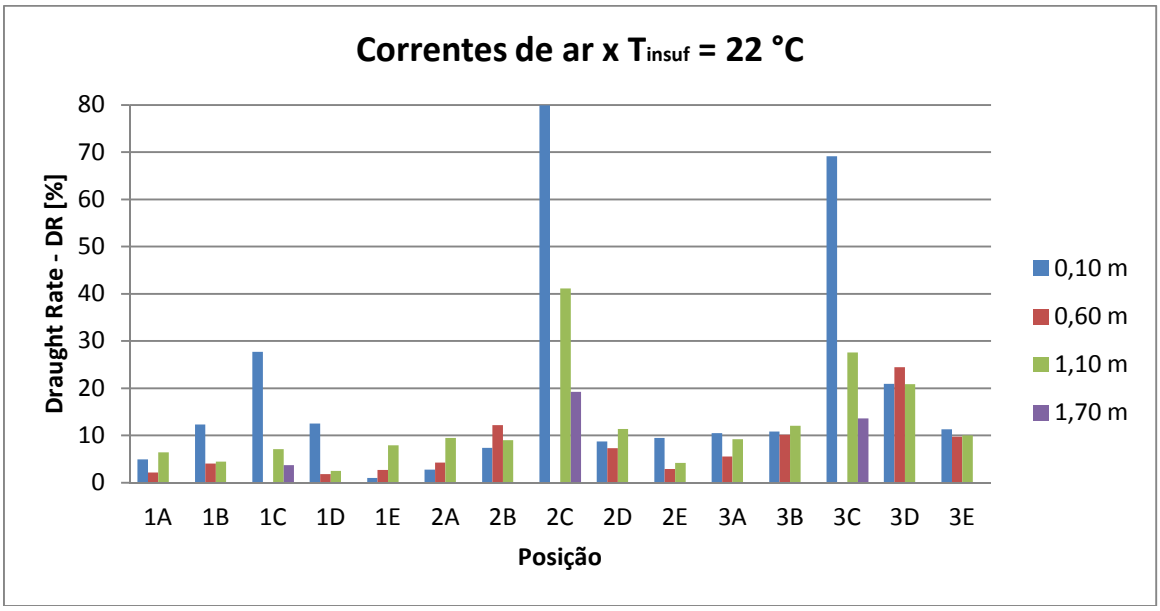


Figura 4.4 – Risco de correntes de ar para temperatura de insuflamento de 22 °C.

As análises das Figuras 4.3 e 4.4 mostraram que a maior região com incidência de desconforto térmico é a região central do mock-up, coluna C. Através da análise dessas Figuras, pode-se observar que o risco de correntes de ar é maior para a temperatura de insuflamento de 18 °C, embora a posição 2C para a temperatura de insuflamento de 22 °C tenha apresentado o maior valor. Também através das análises dessa Figuras, pode-se observar que o risco de correntes de ar apresenta uma simetria em relação ao plano central,

coluna C do mock-up. Quanto mais afastado da região central, menor é o risco de correntes de ar para esse tipo de insuflamento pelo piso. Outra diferença importante está na altura que apresenta o maior percentual de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar, a altura de 0,10 m. Era esperado que essa altura fosse à altura crítica desse processo experimental, pois é a região mais próxima das fontes de insuflamento de ar. A altura de 0,60 m é a região com os menores percentuais de risco de correntes de ar. Esse percentual inferior, mais uma vez, está relacionado com o processo de estagnação o recirculação do ar que ocorre nessa altura de 0.60 m. A posição 1C apresentou menores percentuais de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar em relação às posições 2C e 3C. Esse percentual menor é devido à presença da área de entrada das pessoas no interior do mock-up. Essa região não possui grelhas de insuflamento de ar o que contribuiu diretamente para o percentual menor. O mesmo não se pode observar na posição 3C, pois, embora não tinha grelhas de insuflamento atrás dessa posição, o efeito da parede contribuiu diretamente no aumento do percentual de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar.

5 CONCLUSÕES

A arquitetura de distribuição de ar é um dos principais requisitos para produzir um ambiente saudável e confortável. Esse estudo investigou uma nova arquitetura que tem sido utilizada com sucesso em edificações, a arquitetura de insuflamento pelo piso e retorno ou exaustão pela parte superior do mock-up. No estudo foram mensuradas as velocidades e temperaturas de ar, bem como o risco de correntes de ar para duas temperaturas de ar de insuflamento de 18 °C e 22 °C. Os resultados foram comparados entre as quinze posições do mock-up, sendo a região central, coluna C a região mais crítica. O campo de velocidades não apresentou uma simetria em relação ao plano central, diferente do campo de temperatura que apresentou certa simetria em relação a esse plano.

O estudo mostrou que para essa nova arquitetura de distribuição de ar, a altura de 0,10 m, que compreende a altura dos pés e tornozelos é a região que possui o maior percentual de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar. Foi possível concluir também, que devido à geometria complexa desse ambiente, a altura de 0,60 m (pessoas sentadas) possui ou estagnação do ar ou recirculação do ar e será necessário um estudo específico dessa altura para determinar o fator que influencia o escoamento.

Por fim, o presente estudo mostrou que a nova arquitetura de distribuição de ar com insuflamento pelo piso e retorno ou exaustão pela parte superior pode ser empregada com sucesso no ambiente interno de cabines de aeronaves, haja vista que a região crítica para esse tipo de arquitetura, coluna C, durante o vôo é ocupada principalmente pela tripulação com níveis de atividades superiores ao nível sedentário, nível da maioria dos passageiros. Também não foi observada estratificação de temperatura como ocorre em edificações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBEJDSMILJØGRUPPEN, 1972, Arbejdmiljøundersøgelses rapport Nº. 2, Copenhagen (in Danish).

ASHRAE 55. Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2004.

ASHRAE 161. Air Quality within Commercial Aircraft, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2007.

Bauman F., Daily A. Underfloor air distribution (UFAD) design guide. ASHRAE. Atlanta, 2003.

Bolinder, E., Magnusson, E., and Nyren, E., 1970, Risker i jobbet: LO-enkäten. LO-medlemmarnas uppfattning om arbetsplatsens hälsorisker (Stockholm: PRISMA) (in Swedish)

Chen Q., Glicksman, L. System performance evaluation and design guidelines for displacement ventilation. ASHRAE. Atlanta, 2003.

Fanger, P. O., Christensen, N. K. Perception of draught in ventilated spaces. Ergonomics, 1986, vol. 29, no. 2, 215-235, 1986.

Gao N. P., Niu J. L., Personalized ventilation for commercial aircraft cabins. 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. American Institute of Aeronautics and Austronautics, Inc., Nevada, 2007.

ISO 7730. Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. European Committee for Standardization, 2005.

Leite, B. C. C., Tribess, A. Analysis of Thermal Comfort in an Office Environment with Underfloor Air Supply in a Tropical Climate. HVAC&R Research. 12(2):215-229, 2006.

Pereira, M. L., Graudenz, G., Tribess, A., Morawska, L. Determination of particle concentration in the breathing zone for four different types of office ventilation systems. Building and Environment, 1-8, 2008.

Zhang T, Chen Q. Novel air distribution systems for commercial aircraft cabins. Building and Environment (42):1675-1684, 2007.

Zhang, T., Li, P., Wang, S. A personal air distribution system with air terminals embedded in chair armrests on commercial airplanes. Building and Environment, 2011.

Zhang Z, Chen X, Mazundar S, Zhang, T. Chen, Q. Experimental and numerical investigation of airflow and contaminant transport in an airliner cabin mock-up. Proceedings of the 10th International Conference on Air Distribution in Rooms – Roomvent 2007. Helsinki. 2007a.

Zukowski, M. A new formula for determining a minimum recommended value of inlet air velocity from UFAD system to prevent occupants from draught risk. Building and Environment, 42 (2007) 171-179, 2007.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores expressão sinceros agradecimentos a Universidade de São Paulo por ceder o laboratório de Conforto Térmico para realizar o presente estudo e suportar financeiramente esse projeto. Aos colegas do departamento de Engenharia Mecânica, Rogério e Morel, que contribuíram para a realização do estudo. E, especial agradecimento ao Prof. Dr. Arlindo Tribess, co-autor, que contribuiu de forma significativa para realização do trabalho.