

---

## **ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESCONFORTO TÉRMICO LOCAL EM CABINE DE AERONAVE COM INSUFLAMENTO DE AR PELO PISO**

**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](mailto:evandrosouzadasilva@yahoo.com.br)

(2) Engenheiro Mecânico, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, [douglasfabichak@gmail.com](mailto:douglasfabichak@gmail.com)

(3) Livre Docente, Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica, [atribess@usp.br](mailto:atribess@usp.br)  
Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Conforto Térmico e Qualidade do Ar, Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – Butantã, São Paulo – SP, CEP 05508-900

### **RESUMO**

O sistema de distribuição de ar é um dos mais importantes componentes do sistema de controle ambiental na correta distribuição do ar tratado para prover condições de saúde e de conforto em cabines. O sistema de ventilação por mistura (MV), utilizado atualmente em cabines de aeronaves, não tem propiciado condições adequadas de conforto térmico e pode, devido às suas características de mistura, propagar rapidamente doenças infecciosas na cabine. Sistemas de ventilação utilizados em ambientes de edificações, como o sistema de distribuição de ar por deslocamento (DV) e o sistema de distribuição de ar pelo piso (UFAD) e variantes destes sistemas, estão começando a ser propostos no setor aeronáutico. No presente trabalho foi investigada a proposta de um sistema de ventilação com insuflamento pelo piso (UFAD) e retorno pela parte superior de um *mock-up* instrumentado e ocupado por manequins aquecidos, simulando pessoas. Os campos de temperatura e de velocidade do ar, bem como os riscos de corrente de ar foram determinados para duas temperaturas de insuflamento do ar, de 18 °C e 22 °C, simulando condições de verão e inverno. Os resultados mostraram que, embora haja uma região crítica para essa arquitetura de distribuição de ar, que corresponde à área de insuflamento do ar no corredor, essa arquitetura pode vir a ser empregada com sucesso em cabines de aeronaves. O estudo também mostrou que a arquitetura de distribuição de ar proposta não apresentou estratificação significativa de temperatura, normalmente associada a este tipo de sistema de ventilação.

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

### **ABSTRACT**

Air distribution system is one of the most important components of environmental control system in the correct distribution of treated air to provide health and comfort in cabins. The mixing ventilation system (MV), currently used in aircraft cabins, it has not provided appropriate conditions for thermal comfort and, due to its mixing characteristics, can spread infectious diseases quickly in the cabin. Ventilation systems used in buildings environments, such as displacement ventilation (VD) and underfloor air distribution (UFAD) and variants of these systems are beginning to be proposed in the aeronautic sector. In this study was investigated the proposal of underfloor air distribution (UFAD) and return at ceiling level of an instrumented mock-up occupied by heated manikins, simulating people. The air temperature and air velocity fields, as well as the draught risk were determined for two air insufflations temperatures, 18 °C and 22 °C to simulate summer and winter conditions. The results showed that although there is a critical region, this air distribution architecture, which corresponds to aisle air insufflations area, this architecture might be successfully employed in aircraft cabins. The study also showed that the air distribution architecture proposal did not provide temperature stratification, normally associated with this type of ventilation system.

Keywords: local thermal discomfort, draught, underfloor air distribution, aircrafts

# 1 INTRODUÇÃO

O ambiente de um avião comercial é diferente de qualquer outro tipo de ambiente comumente ocupado por pessoas. Para o usuário de transporte aéreo, o ambiente interno de uma cabine de avião deve ser confortável e saudável. Neste contexto, 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 na parte superior a alta velocidade e retorno na parte inferior lateral com mistura do ar na cabine – *Mixing 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 a correntes de ar (*draught risk*) (ZUKOWSKI, 2007; ZHANG, LI e WANG, 2011).

Segundo a norma ASHRAE 55 (2010) “correntes de ar (*draft* ou *draught*) são um resfriamento local indesejado do corpo causado pelo movimento do ar”. A sensibilidade a 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). Em ambientes de escritórios 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 dinâmica dos fluidos computacional (CFD-*Computational Fluid Dynamics*). 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 a correntes de ar para esse caso.

Com relação a cabines de aeronaves, 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, que 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 porcentagem de pessoas insatisfeitas devido a correntes de ar utilizando o programa de CFD.

Observa-se da revisão bibliográfica, que nenhum estudo experimental trata da análise de conforto térmico em aeronaves com outro tipo de sistema de ventilação que não seja o sistema de mistura (MV), embora outros sistemas de ventilação em aeronaves estejam sendo estudados e testados (DLR, 2011).

A partir desse contexto, e devido aos problemas já relatados de conforto térmico e de qualidade do ar associados ao sistema de ventilação tradicional (MV) resolveu-se realizar estudos propondo e testando diferentes sistemas de ventilação e de distribuição de ar em *mock-up* de cabine de aeronave, como alternativa ao sistema de ventilação atualmente utilizado.

## 2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é avaliar condições de desconforto térmico local devido a correntes de ar e estratificação de temperatura em um *mock-up* de aeronave instrumentado dotado de sistema de ventilação com insuflamento pelo piso (UFAD).

## 3 MÉTODO

### 3.1 Instalações

A investigação experimental para avaliar os riscos de correntes de ar utilizando sistema de insuflamento de ar pelo piso (UFAD) foi conduzida no Laboratório de Conforto Térmico e Qualidade do Ar da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em um *mock-up* instrumentado com três fileiras de quatro assentos por fileira, separadas por um corredor central, totalizando doze assentos (Fig. 1). 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 está localizado na região central superior e nas laterais superiores, junto ao bagageiro. No interior do *mock-up* foram instalados manequins aquecidos, simulando os passageiros (Fig. 1).

### 3.2 Sistema de ventilação

O laboratório é dotado de um sistema de climatização do tipo expansão indireto, composto por *chiller* e *fan coil*, e possibilidade de aquecimento e umidificação do ar, com controlador lógico programável, CLP, que fornece ar tratado ao *mock-up* instrumentado. O ar tratado é insuflado no ambiente interno do *mock-up* pelo piso através de grelhas lineares instaladas no corredor central (Fig.2). A temperatura do ar de insuflamento é monitorada e controlada por meio de transmissor de temperatura e umidade relativa, com faixa de operação entre 14 °C a 40 °C  $\pm$  0,5 °C e 50%  $\pm$  5% a 40 °C, instalado no interior dos dutos de ventilação do sistema de insuflamento, próximo às grelhas lineares. Esse transmissor de temperatura e umidade relativa do ar está ligado ao CLP e ajustado e controlado pelo programa supervisor. As temperaturas do ar de insuflamento foram ajustadas para as condições de verão, 18 °C e inverno 22 °C e umidade relativa de 50%. O ar foi insuflado a uma taxa de 9,4 L/s/pessoa, conforme estabelecido pela norma ASHRAE 161 (2007), totalizando

uma vazão de 406,8 m<sup>3</sup>/h, com 100% de renovação de ar. A vazão foi controlada e ajustada por meio de medição de velocidades nos dutos de retorno utilizando tubos de Pitot e manômetros diferenciais. Ventiladores centrífugos AXC, modelo 125B, com potência de 75 W e vazão máxima de 385 m<sup>3</sup>/h, foram instalados nos dutos de retorno para minimizar os efeitos de perda de carga do escoamento.

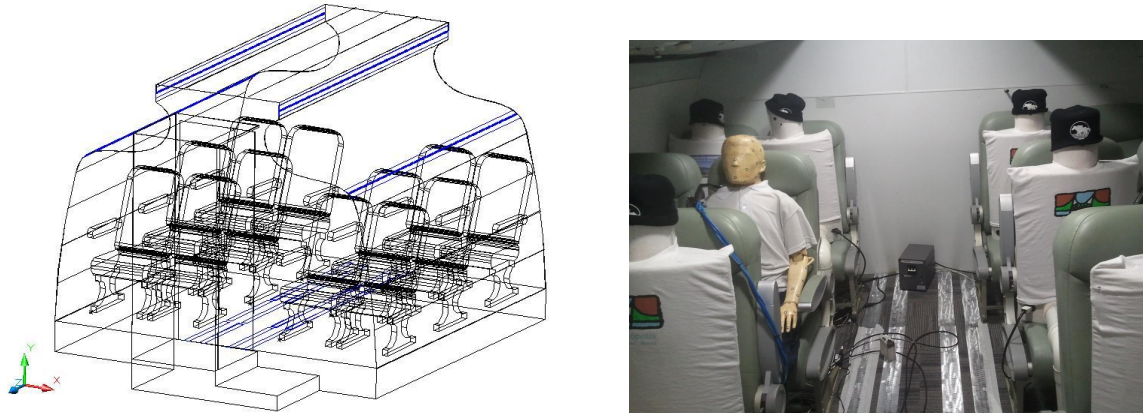


Figura 1 – Representação esquemática do mock-up e foto interna com os manequins aquecidos

### 3.3 Instrumentos e planos de medição

A temperatura do ar, a velocidade do ar e o risco de correntes de ar (*Draught Rate* – DR), foram obtidas a partir de medições com o sistema ComfortSense da Dantec Dynamics, que consiste de três mini estruturas modulares, com entrada para um canal e dois *drivers* da National Instruments para fazer a conexão com o computador. Foram utilizados três transdutores, compostos de três sondas omnidirecionais para medição de velocidades do ar com frequência de resposta superior a 2 Hz e com sensores de temperatura de resposta rápida integrados, com intervalo de operação de 0,05 até 10 m/s e -20 °C até 70 °C, e incertezas de medição, respectivamente, de  $\pm (0,02 + 0,02 V)$  m/s e  $\pm 0,5$  °C, que atendem aos requisitos de precisão de equipamentos da norma ISO 7726 (1998).

As temperaturas das paredes, piso, teto e manequim foram monitorados com um termômetro infravermelho, com faixa de operação entre -30 °C a 90 °C e exatidão de  $\pm 0,75\%$  da leitura ou  $\pm 1$ °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, a 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 (Fig. 3), totalizando 45 pontos de medição para cada temperatura de insuflamento (18°C e 22°C).

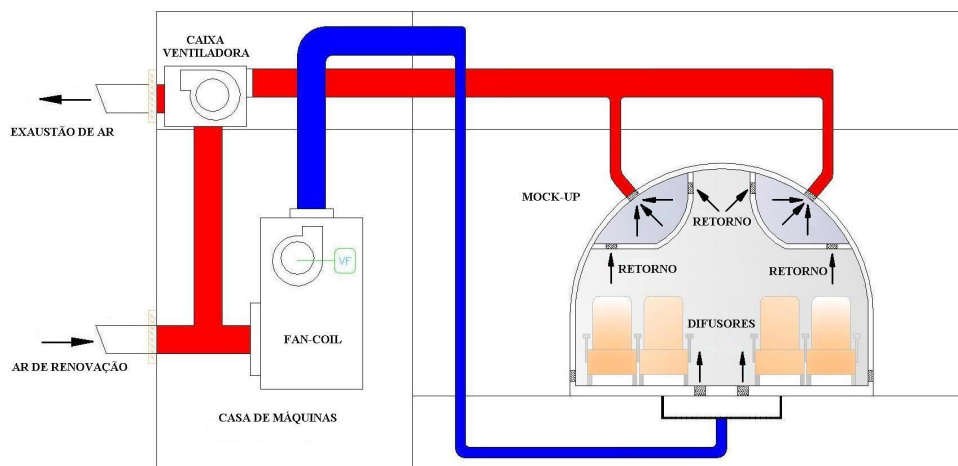


Figura 2 – Sistema UFAD, com insuflamento pela parte inferior central e exaustão pela parte lateral e superior dos bagageiros.

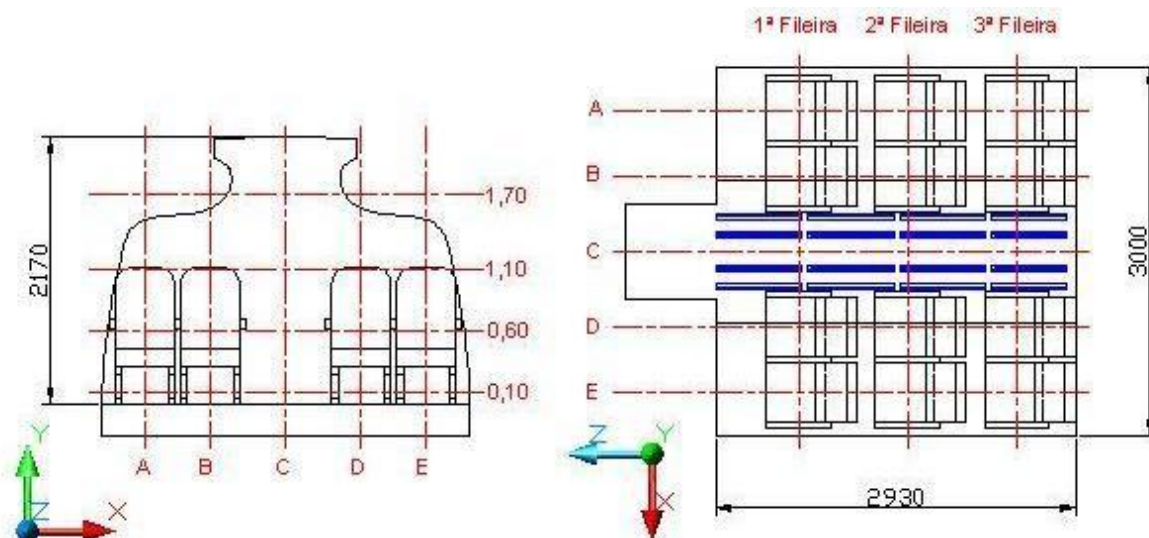


Figura 3 – Planos de medição de velocidade e temperaturas do ar no mock-up instrumentado.

### 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 supervisor 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 m<sup>3</sup>/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 certificar-se que não houve perda de ajuste após as medições. Um teste com fumaça foi conduzido para verificar a estanqueidade tanto do mock-up como dos dutos de exaustão e retorno. Os manequins foram ligados e o sistema operou por 2 horas antes de qualquer dado ser coletado. O sistema supervisor 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 aquecidos. 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 pela incerteza de medição, resultado da combinação da incerteza de medição do termômetro infravermelho e dos desvios padrão das medidas em cada condição de ensaio (COLEMAN e STEELE, 1989; INMETRO, 1998). A Tabela 1 resume as temperaturas médias do presente estudo.

Tabela 1 – Temperatura média das superfícies internas do mock-up

Superfície	Temperatura [°C] a 18°C	Temperatura [°C] a 22°C
Teto	23 ± 1,4	26 ± 1,4
Lateral esquerda	24 ± 1,4	28 ± 1,4
Lateral direita	23 ± 1,4	27 ± 1,4
Piso	21 ± 1,4	25 ± 1,4
Fundo	21 ± 1,4	26 ± 1,4
Frente	26 ± 1,4	29 ± 1,4
Manequim	33 ± 1,4	33 ± 1,4

No estudo foram utilizadas simultaneamente as três sondas omnidirecionais com sensores de temperatura para efetuar as medições de velocidade e temperatura do ar e verificação do risco de correntes de ar. As três sondas com os sensores de temperatura 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 teve 1.800 registros em 10 minutos. Nos ensaios também foram medidas a velocidade e a temperatura do ar na posição 3A (Fig. 3) 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. De forma similar, Zhang, *et al* (2007a) também não encontraram diferenças significativas em intervalos de tempo de 20 minutos e 4 minutos em seu estudo, tendo sido 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 das 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.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 Velocidades e temperaturas do ar

As velocidades e temperaturas do ar foram medidas nas quinze posições da Figura 3 para as temperaturas de insuflamento de 18 °C e 22°C. Os gráficos das Figuras 4 e 5 mostram os resultados dos perfis de velocidade e de temperatura do ar para cada posição da Figura 3.

A análise da Figura 4 mostra que as velocidades do ar na coluna C apresentam, de uma forma geral, padrão de simetria e, como esperado, valores maiores por ser a região de insuflamento do ar. A velocidade do ar diminuiu gradativamente em relação à altura na coluna C, conforme se pode observar nas posições 1C, 2C e 3C. A região à frente da posição 1C, não possui grelhas lineares de insuflamento e, como resultado, a velocidade do ar é menor em relação às posições 2C e 3C. Embora a posição 3C, também não possua grelhas lineares atrás dessa posição, o efeito da parede contribuiu para os valores encontrados. As zonas mais críticas em relação à velocidade do ar encontram-se na região central, coluna C, na altura de 0,10 m. Em geral, a altura de 0,60 m é a região com os menores valores de velocidade do ar.

O campo de temperaturas também foi avaliado nas quinze posições da Figura 3, com os resultados apresentados na Figura 5. A análise da Figura 5 permite concluir que a altura de 0,6 m apresenta temperaturas superiores às alturas de 0,10 m e 1,10 m, na maioria das posições. Este fato está diretamente relacionado com o padrão de escoamento do ar no sistema UFAD, com velocidades menores na altura de 0,60 m, na maioria das posições. 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. 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 distribuição 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 1,70 m, pessoas sentadas e pessoas em pé, respectivamente), essa diferença não é suficiente para considerar que existe uma estratificação significativa da temperatura no interior do *mock-up*. As maiores diferenças de temperatura entre a altura dos pés e da cabeça foram inferiores a 3 °C e, portanto, dentro do limite preconizado pelas normas ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010), ISO 7730 (ISO, 2005).

### 4.2 Risco de desconforto devido a correntes de ar

Para a determinação do risco de correntes de ar (*Draught Rate* – DR), as normas ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010) e ISO 7730 (ISO, 2005) definem DR, para atividade leve ou sedentária, como sendo (FANGER et al., 1988):

$$DR = \left[ (34 - T_{ar})(V_{ar} - 0,05)^{0,62} \right] (0,37.V_{ar}.T_u + 3,14) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

T<sub>ar</sub> = temperatura do ar local [°C];

V<sub>ar</sub> = velocidade média do ar local [m/s];

T<sub>u</sub> = intensidade de turbulência [%].

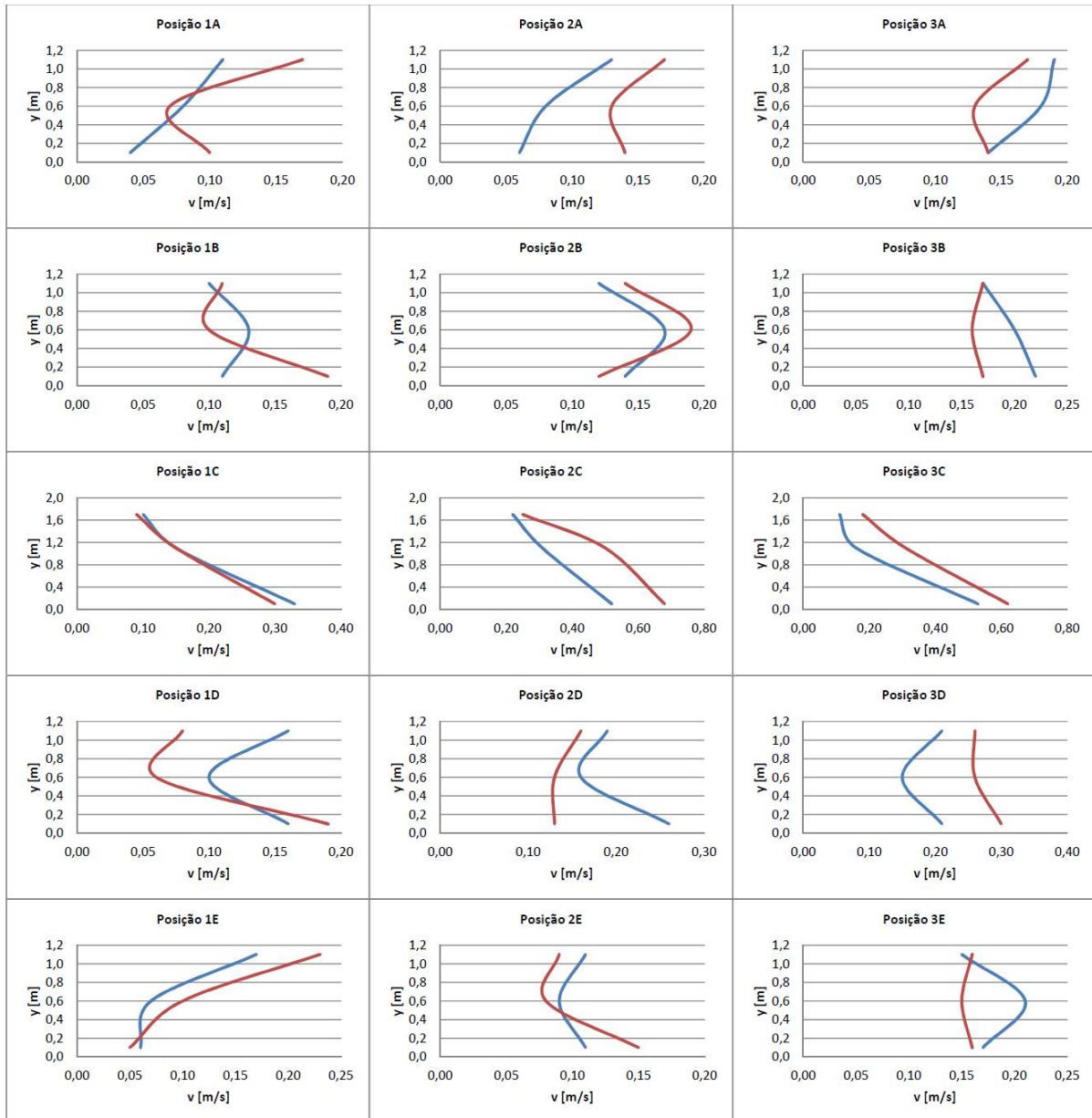


Figura 4 – Perfis de velocidade do ar para temperaturas de insuflamento de 18 °C (linhas azuis) e de 22 °C (linhas vermelhas)

Na Equação 1 a intensidade de turbulência ( $T_u$ ) é a relação entre o desvio padrão ( $DP_v$ ) e a média da velocidade do ar ( $V_{ar}$ ), expressa em porcentagem. Essa relação pode ser calculada pela Equação 2, com base nos valores de velocidade do ar, medidos com intervalos de 0,2 s durante, pelo menos, 3 minutos, e o desvio padrão ( $DP_v$ ), referente à respectiva coleção de dados.

$$T_u = \frac{DP_v}{V_{ar}} \cdot 100$$

Equação 2

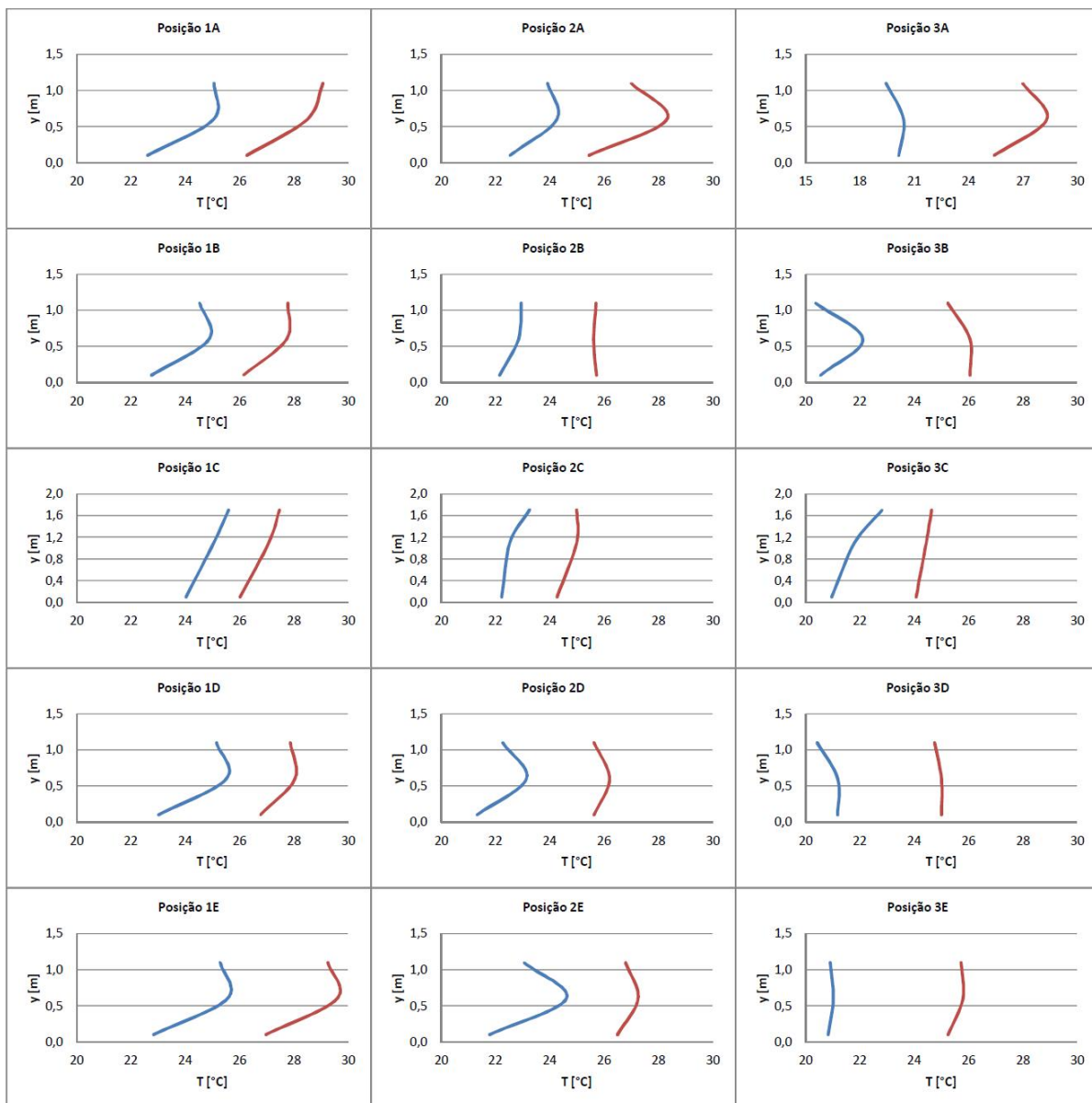


Figura 5 – Perfis de temperatura do ar para temperaturas de insuflamento de 18 °C (linhas azuis) e de 22 °C (linhas vermelhas)

Os resultados de DR são apresentados nas Figuras 6 e 7, que mostram o percentual de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar para as temperaturas de insuflamento de 18 °C e 22 °C, respectivamente.

A análise das Figuras 6 e 7 mostra que a região com maior desconforto térmico devido a correntes de ar é a região central do *mock-up*, coluna C. Por meio 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



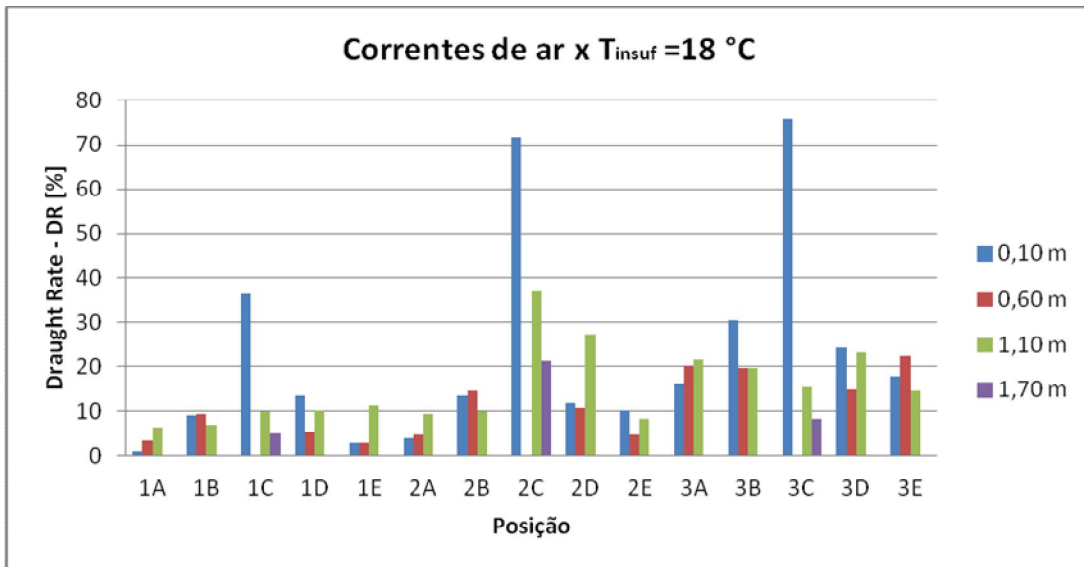


Figura 6 - Risco de correntes de ar para temperatura de insuflamento do ar de 18 °C.

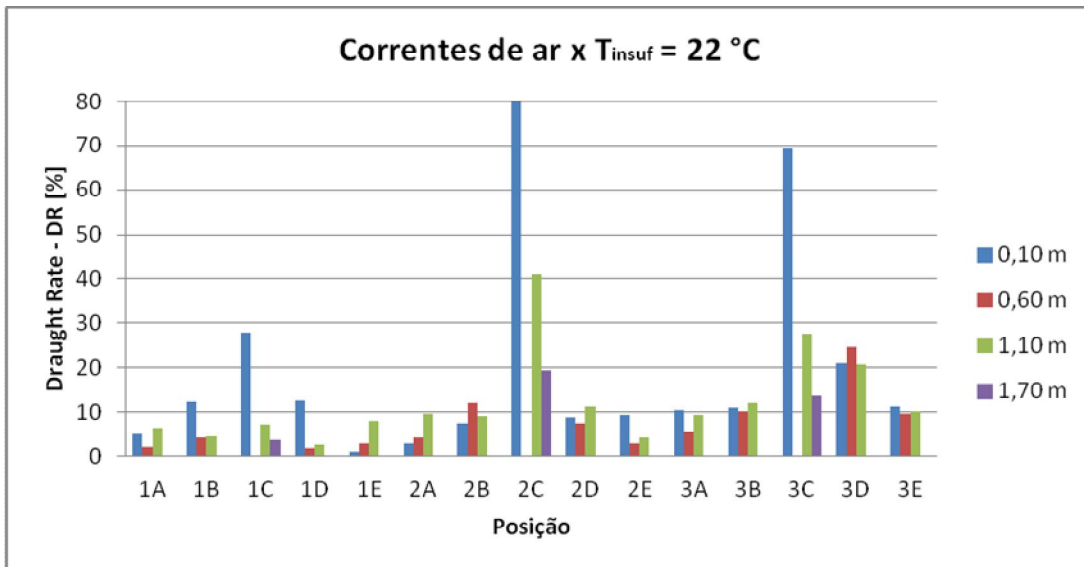


Figura 7 - Risco de correntes de ar para temperatura de insuflamento de 22 °C.

Também por meio da análise das Figuras 6 e 7, 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 sistema de ventilação analisado. O maior percentual de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar ocorre na altura de 0,10 m. Era esperado que essa altura fosse a altura crítica para o sistema UFAD, pois é a região mais próxima do insuflamento de ar. A altura de 0,60 m é a região com os menores percentuais de risco de correntes de ar. Esse percentual menor está relacionado com as temperaturas maiores e velocidades menores verificadas 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 observa na posição 3C, pois, embora não existam grelhas de insuflamento atrás dessa posição, o efeito da parede contribuiu diretamente no aumento do percentual de pessoas insatisfeitas devido a correntes de ar.

## 5 CONCLUSÕES

Como era de se esperar, o risco de correntes de ar é enorme no corredor, local de insuflamento do ar na cabine no presente estudo. Nas poltronas mais próximas do corredor este risco também é significativo, principalmente na região dos pés. Neste caso, contudo, este risco pode ser minorado com a instalação de aletas defletoras nos difusores, de tal modo que o ar não seja insuflado diretamente no espaço das poltronas.

Por fim, o presente estudo mostrou que a arquitetura de distribuição de ar analisada com insuflamento pelo piso no corredor e exaustão pela parte superior pode ser empregada com sucesso no ambiente interno de cabines de aeronaves, necessitando-se, naturalmente, a realização de um maior número de estudos e de análise de diferentes formas de realizar o insuflamento de ar na cabine pelo piso.

Outro aspecto importante é com relação à estratificação da temperatura, que também não se mostrou significativa, podendo ser também minorada.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARBEJDSMILJØGRUPPEN, Arbejdsmiljøundersøgelses rapport N<sup>o</sup>. 2, Copenhagen (in Danish), 1972
- ASHRAE 55. Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2010.
- 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., 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.
- COLEMAN, H. W.; STEELE, W. G. Experimentation and uncertainty analysis for engineers. John Wiley & Son. New York, 1989.
- DLR, DLR and Airbus flight-test new aircraft ventilation system. 2011. [http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10256/366\\_read-1664](http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10256/366_read-1664). acessado em 05.04.2013.
- FANGER, P. O., CHRISTENSEN, N. K. Perception of draught in ventilated spaces. Ergonomics, 1986, vol. 29, no. 2, 215-235, 1986.
- FANGER, P. O., MELIKOV, A. K., HANZAWA, H., RING, J. Air turbulence and sensation of draught. Energy and Buildings, 12 (1988) 21-39, 1988.
- GAO N. P., NIU J. L., Personalized ventilation for commercial aircraft cabins. 45<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Nevada, 2007.
- INMETRO. Guia para expressão da incerteza de medição, segunda edição brasileira publicada pelo INMETRO e pela ABNT, Instituto Nacional de Metrologia, rio de Janeiro, 1998.
- ISO 7726. Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities, International Organization for Standardization, Geneva, 1998.
- 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. International Organization for Standardization, Geneva, 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 10<sup>th</sup> 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.