

**Título:** INFLUÊNCIA DE SISTEMA DE VENTILAÇÃO PERSONALIZADA INSTALADO NA POLTRONA NA DISPERSÃO DE PARTÍCULAS EXPIRATÓRIAS EM CABINE DE AERONAVE: RESULTADOS FINAIS

Paulo Rogério Celline<sup>1</sup>, Douglas Fabichak Jr.<sup>1</sup>, Arlindo Tribess<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

E-mails: [paulo.celline@usp.br](mailto:paulo.celline@usp.br), [douglasfabichak@gmail.com](mailto:douglasfabichak@gmail.com), [atribess@usp.br](mailto:atribess@usp.br)

## **RESUMO**

Cada vez mais, o desenvolvimento de aeronaves vem ocorrendo, não somente visando a segurança nos voos, mas também com o propósito de prover bem-estar e conforto a bordo. Uma das formas de melhorar as condições de conforto térmico no interior das cabines de aeronaves consiste na utilização de sistemas de ventilação personalizada, permitindo aos ocupantes criar condições de microclima em seu entorno. No entanto, há a necessidade de se verificar se estes sistemas podem também auxiliar na remoção de contaminantes no interior das aeronaves. Resultados finais de estudo da influência de sistema de ventilação personalizada instalado na poltrona na dispersão de partículas expiratórias em um *mock-up* de 12 lugares são apresentados no presente trabalho. Resultados parciais deste estudo foram apresentados no SIMEA 2016. O *mock-up*, instalado no Laboratório de Conforto Térmico e de Qualidade do Ar da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, possui as mesmas características do interior de uma aeronave comercial com quatro poltronas por fileira. Os ensaios foram realizados com temperatura do ar insuflado na cabine a 18°C, correspondendo a uma leve sensação de frio, e temperatura do ar insuflado pelo sistema personalizado a 24°C, com vazão de 3,0 l/s. As partículas simulando uma pessoa espirrando foram injetadas em dois pontos no fundo da cabine, respectivamente, na poltrona próxima da fuselagem e na poltrona perto do corredor, a 1,10m do piso, que corresponde à região de respiração. A contagem de partículas também foi realizada a 1,10m do piso nos assentos da fileira imediatamente à frente do ponto de injeção das partículas, ou seja, na fileira do meio do *mock-up*, onde se encontra instalado o sistema de ventilação personalizada. Medições para o mapeamento dos perfis de temperaturas e de velocidades do ar também foram realizadas. Os resultados mostraram que a dispersão de partículas sofre forte influência do sistema de ventilação personalizada e do ponto de injeção das partículas. A quantidade de partículas expiratórias na cabine sempre foi menor quando a injeção foi feita pelo assento junto à fuselagem. Isto ocorre devido ao sistema de ventilação da cabine ser por mistura, com exaustão do ar pela parte inferior próximo da fuselagem. Por outro lado, a injeção de partículas pelo corredor é a condição mais favorável à dispersão das partículas expiratórias. O sistema personalizado instalado na poltrona no assento próximo da fuselagem e no assento próximo do corredor foi capaz de reduzir, respectivamente, em 40% e 65% a quantidade de partículas expiratórias na zona de respiração nestas poltronas. Adicionalmente, quando o sistema personalizado está funcionando junto ao corredor, a redução das partículas em toda a fileira é de quase 60% em comparação ao sistema personalizado desligado.

## 1. INTRODUÇÃO

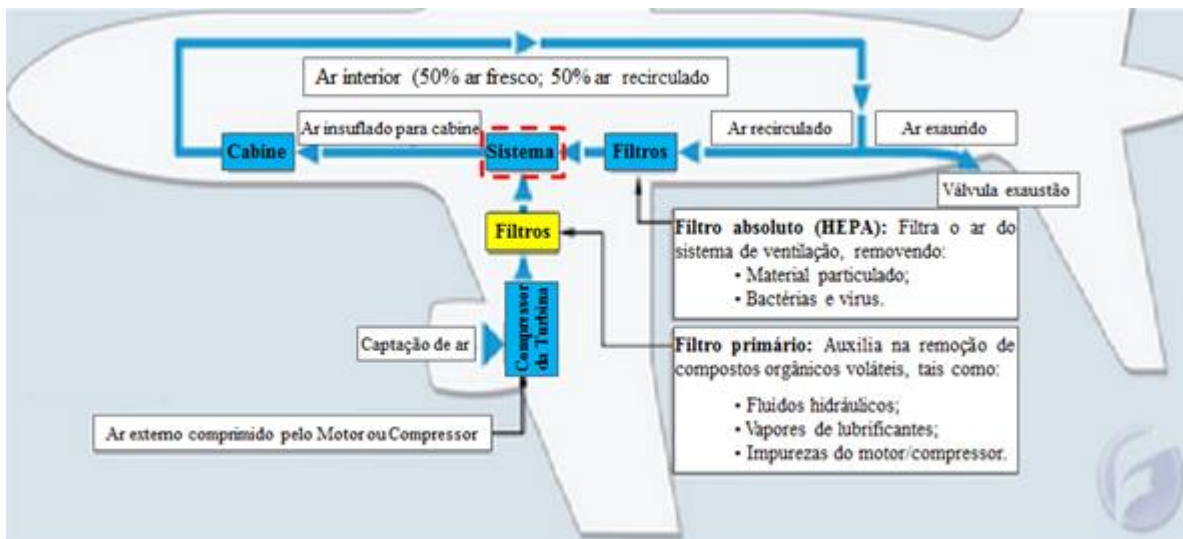
Devido ao número crescente de voos, de passageiros e de rotas aéreas cada vez mais longas, a preocupação em tornar o ambiente interno em cabines de aeronaves mais saudável e agradável tem motivado diversos estudos. No entanto, ainda é bastante comum o relato de passageiros que viajam em aeronaves se sentirem termicamente desconfortáveis neste tipo de ambiente. Em função das inúmeras variáveis inerentes ao problema, são necessários esforços redobrados para ofertar aos usuários um ambiente confortável e saudável que, adicionalmente, também seja uma alternativa economicamente viável para os fabricantes de aviões, permitindo oferecer produtos tecnologicamente modernos aliados a um baixo custo por passageiro.

Em geral, em ambientes climatizados de edificações nos quais condições de conforto térmico são atingidas, verifica-se, por exemplo, que a umidade relativa do ar fica em torno dos 50%. Em aeronaves, contudo, em função da baixa umidade do ar exterior em condições de voo, são verificadas umidades relativas bastante mais baixas por períodos longos de exposição, podendo chegar a 5%, amplificando o desconforto térmico e comprometendo a salubridade a bordo. [1]; [2]; [5]. Neste tipo de ambiente, estudos recentes mostram que os sistemas de ventilação empregados nos aviões ainda não são totalmente eficientes ao ponto de propiciar conforto térmico e qualidade do ar aos ocupantes sem gerar correntes de ar, principal causa de desconforto térmico em ambientes climatizados, embora a velocidade do ar, normalmente, seja baixa em aeronaves [3]; [4]; [5].

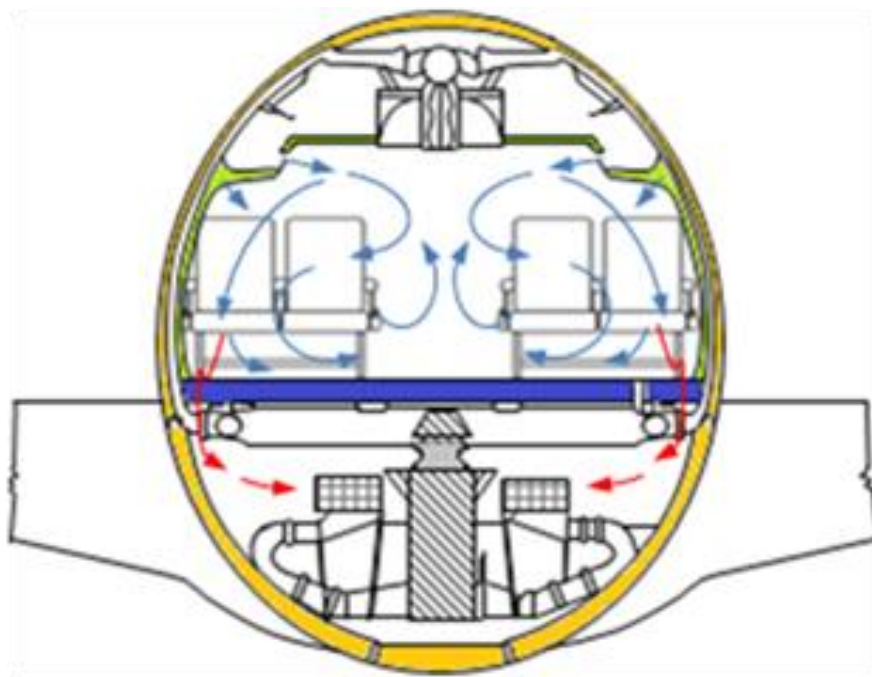
Por outro lado, o aumento na demanda de passageiros, com maior proximidade dos passageiros entre si na aeronave, as baixas taxas de renovação do ar e a reduzida umidade relativa do ar interno são fatores que tendem a aumentar os efeitos da contaminação do ar em cabines de aeronaves, seja por agentes transmissores de doenças, ou por partículas expiratórias que se deslocam pelo ambiente fechado [6]; [7]; [8]; [9]. Estes fatos vêm motivando tanto os fabricantes de aeronaves quanto instituições de pesquisa ao redor do mundo a buscarem alternativas para melhorar não só as condições de conforto térmico, como também de salubridade, a partir da atuação na distribuição de ar na cabine [1]; [3]; [4]; [5]; [10].

As atuais aeronaves comerciais empregam, em sua grande maioria, a arquitetura de distribuição de ar denominada ventilação por mistura (*Mixing Ventilation* ou sistema MV). Nesta configuração o ar é insuflado pela parte superior da cabine e misturado no interior do ambiente, por meio do efeito descendente do fluxo do ar. Posteriormente, o ar é removido através dos dutos de exaustão localizados na parte inferior da fuselagem, sendo que metade do volume de ar é filtrado e devolvido ao sistema de climatização da aeronave. A Figura 1 mostra um *layout* simplificado desta arquitetura.

Embora o sistema MV proporcione um ambiente com baixa estratificação de temperatura [11]; [5], problemas de desconforto térmico, com sensação de frio ou de calor, têm sido verificados [5]; [10]; [12]. Além disso, a recirculação do ar pela cabine pode dispersar os contaminantes com maior facilidade pelo interior da aeronave. [3]; [11]; [13], conforme pode ser observado na Figura 2.



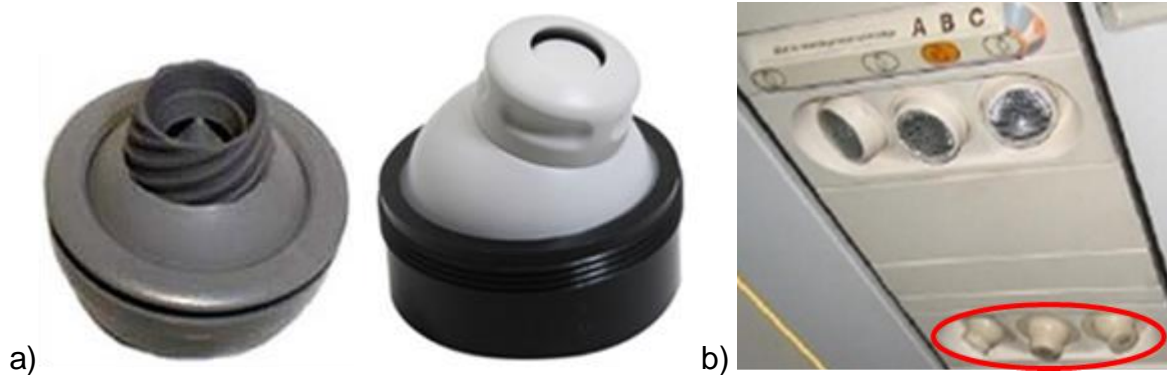
**Figura 1** - Esquema básico do sistema de climatização de aeronaves (adaptado de [14])



**Figura 2** - Sistema de distribuição com mistura de ar na cabine (adaptado de [3];[11])

Uma das formas de atuar na distribuição de ar para melhorar as condições de conforto térmico e da qualidade do ar no interior das aeronaves consiste na instalação de sistemas de ventilação personalizada (*Personalized Ventilation* ou sistemas PV), que permitem aos ocupantes criar condições de microclima no seu entorno.

Um dispositivo de sistema PV muito comum em aeronaves comerciais são as válvulas tipo *gasper*, que são difusores cuja função é direcionar o jato de ar para a região da cabeça e da zona de respiração dos ocupantes, obtendo-se assim um efeito de resfriamento localizado. O difusor *gasper* é, normalmente, instalado sob o compartimento de bagagem, conforme mostrado na Figura 3.



**Figura 3** - a) Saídas de ar personalizadas do tipo válvula *gasper* [10];

b) aplicação - em destaque - em cabine de aeronave [15]

O sistema de válvula *gasper*, contudo, não tem se mostrado eficiente e suficiente [15]; [16], e novos sistemas personalizados mais complexos estão sendo desenvolvidos, aperfeiçoados e testados, razão pela qual ainda não têm sido efetivamente empregados em cabines de aeronaves.

Um tipo de sistema de ventilação personalizada que tem sido estudado consiste na utilização de difusores instalados em diferentes partes da poltrona [3]; [17]. No tipo de sistema PV instalado na poltrona da frente do passageiro, objeto de estudo no presente trabalho, o insuflamento do ar é feito na longitudinal e mais próximo da zona de respiração dos ocupantes.

Detalhes de estudos realizados utilizando a válvula *gasper*, bem como outras alternativas de sistemas PV, foram apresentados pelos presentes autores em artigo do SIMEA 2016 [18]. Atualização desta revisão bibliográfica pode ser encontrada na Dissertação de Mestrado do primeiro autor, concluída no início do presente ano de 2017 [19].

Nos estudos experimentais encontrados na literatura em nenhum deles foi avaliada a influência de qualquer sistema PV instalado na poltrona na dispersão de partículas expiratórias na cabine. Função disso foi desenvolvido o presente trabalho, cujos resultados parciais foram apresentados no SIMEA 2016 [18].

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Descrição do *mock-up*

O interior do *mock-up* foi construído de modo a representar adequadamente o interior de uma seção de cabine de aeronave comercial, contendo 12 lugares dispostos em três fileiras de quatro assentos e um corredor central. As curvas internas dos bagageiros (*bins*) e as paredes foram construídas em tubo estrutural e chapa metálica, com acabamento interno em revestimento melamínico, com acabamento e rugosidade superficial típico do interior de aeronaves. O piso foi confeccionado em madeira e revestido com carpete. Os assentos utilizados são os mesmos empregados no modelo de aeronave comercial e suas dimensões e espaçamentos entre assentos representam o interior deste tipo de cabine de aeronave.

O *mock-up* foi configurado para operar com o sistema de distribuição de ar convencional, i.e., com a arquitetura de ventilação por mistura MV, onde ar é insuflado com alta velocidade através de dois dutos localizados nos *plenum* superiores às seis aberturas na região inferior do maleiro (*overhead bins*) e o retorno sendo feito através das grelhas laterais inferiores, conforme mostrado na Figura 4.

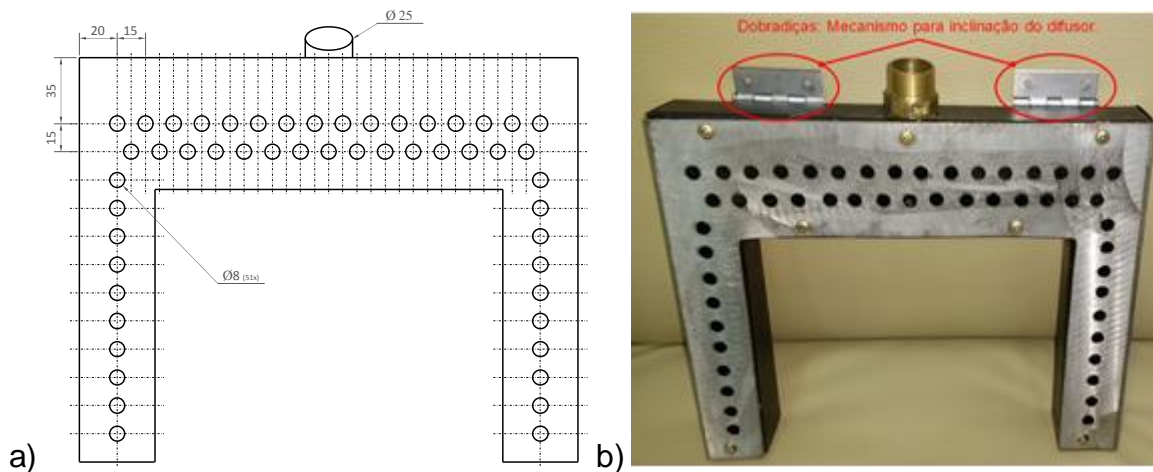


**Figura 4** - Interior do *mock-up*, configurado para a arquitetura de ventilação por mistura

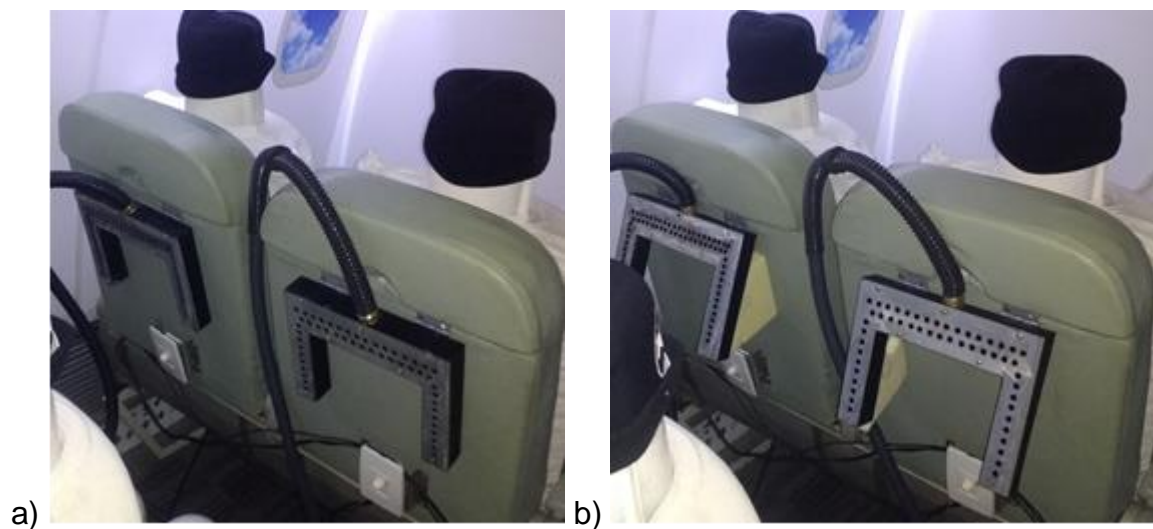
As poltronas da 2ª fileira apresentam sistema de ventilação personalizada instalado na poltrona. O sistema PV recebe ar do sistema personalizado de modo independente do sistema global da cabine do *mock-up*. Com isto, a temperatura de insuflamento do ar nos difusores da poltrona pode ser diferente da temperatura de insuflamento do ar na cabine. Os difusores de ar utilizados possuem formato de “U” invertido, conforme apresentado em detalhe na Figura 5. A geometria do difusor foi definida considerando que pode ser adaptado um display multimídia central, já disponível neste tipo de aeronave de



passageiros. Adicionalmente, foi adicionado um mecanismo para articulação do difusor, permitindo-se assim a possibilidade de direcionar o jato de ar para a zona de respiração. Na Figura 6 é mostrado o sistema PV instalado nas poltronas do *mock-up*.



**Figura 5** - Difusor de ar do sistema PV: a) Geometria e dimensional do difusor  
b) Mecanismo para inclinação do difusor



**Figura 6** - Difusor de ar do sistema de ventilação personalizada de poltrona:  
a) Configuração sem inclinação; b) Configuração com inclinação

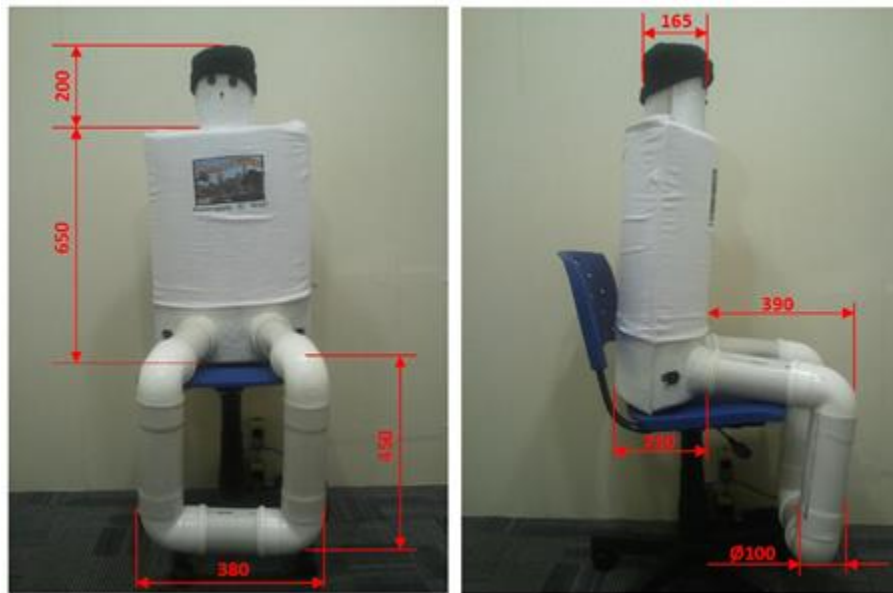
Os assentos utilizados são os mesmos empregados no modelo de aeronave comercial e suas dimensões e espaçamentos entre assentos representam o interior deste tipo de cabine de aeronave. A Figura 7 mostra o interior do *mock-up*, juntamente com os manequins aquecidos, simulando a presença de passageiros [18]; [19].



**Figura 7** - Vista interna do *mock-up* com os manequins aquecidos

## 2.2. Os manequins aquecidos

Os manequins aquecidos foram posicionados nos assentos para simular a ocupação do *mock-up* por pessoas. Para a construção dos manequins foi utilizada fibra de vidro e tubos e conexões de PVC, adequando suas formas e dimensões às do corpo humano sentado, conforme mostrado na Figura 8. Na parte interna existe uma resistência elétrica que dissipa calor e um ventilador que propicia uma distribuição uniforme da temperatura ao longo de toda a superfície do manequim.



**Figura 8** - Manequim aquecido e suas dimensões [10]

### 2.3. Detalhes dos ensaios e das arquiteturas avaliadas

Os ensaios foram realizados com temperatura de insuflamento do ar na cabine a 18°C e vazão de 9,6  $\ell/s$ /passageiro, condições estas típicas de voos comerciais e recomendadas pela norma ASHRAE-161 [20]. Nesta condição uma grande parte das pessoas sentiria desconforto térmico por leve sensação de frio [21], o que demandaria a utilização do sistema de ventilação personalizada para proporcionar condições de microclima e de conforto térmico. Para tal, a temperatura de insuflamento do ar do sistema personalizado foi de 24°C e vazão de 3,0  $\ell/s$ . Estes valores foram definidos segundo o critério de avaliação de desconforto térmico local por correntes de ar [22]; [19]. Todos os ensaios foram realizados com filtragem e 100% de renovação de ar para que a quantidade de partículas presentes na cabine no início dos ensaios fosse insignificante, e também para que os ensaios pudessem ser realizados em regime permanente, com injeção constante de partículas.

As arquiteturas avaliadas no presente trabalho foram:

- **Arquitetura I:** Sistema de ventilação por mistura (MV), com 40% de vazão de ar insuflado por difusores instalados na parte superior dos *bins* e 60% da vazão de ar insuflada pelos difusores na parte lateral inferior dos *bins* e com exaustão do ar através das grelhas instaladas na parte inferior lateral da cabine, sistema convencional de distribuição de ar;
- **Arquitetura II:** Sistema de ventilação por mistura (MV), nas mesmas condições que a arquitetura I, adicionado ao sistema de ventilação personalizada (PV) com insuflamento de ar instalado na poltrona. Esta arquitetura foi subdividida em duas avaliações: inicialmente considerando o difusor sem estar inclinado e posteriormente com o difusor totalmente inclinado.

### 2.4. As partículas expiratórias

#### 2.4.1. Método de geração das partículas

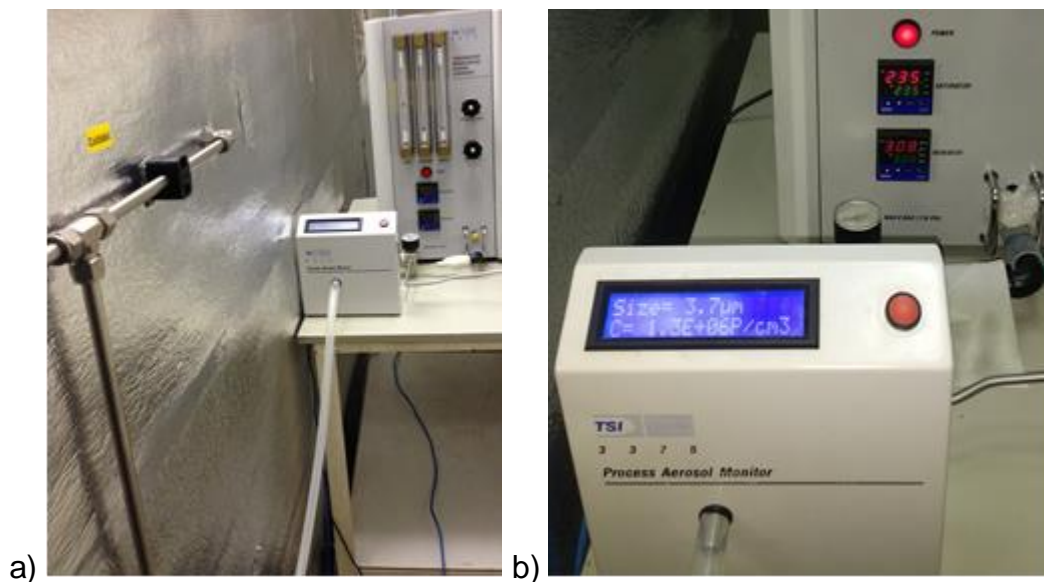
Para a avaliação da dispersão das partículas que simulem atividades expiratórias é conveniente que as partículas a serem geradas tenham a mesma forma e quantidade que as partículas geradas pelas pessoas, em situações normais. Para isso, a curva de distribuição proposta por Duguid [23] será a referência do presente trabalho. O equipamento gerador de aerossol utilizado foi configurado para gerar partículas de tamanho médio  $4,0 \mu\text{m} \pm 1,1 \mu\text{m}$  e concentração máxima na ordem de  $1,2 \times 10^6$  partículas/ $\text{cm}^3$ , valores estes equivalentes às gotículas exaladas em espirro contínuo [23]. O gerador de aerossol fornece vazão entre 3,5 e 4,0  $\ell/\text{min.}$ , valores estes semelhantes à vazão média de ar de inalação e exalação das pessoas [24]. Para simular a fonte contaminante, foi utilizada a substância DEHS, que se mostrou bastante adequada para este tipo de ensaio, por possuir propriedades semelhantes às da água ( $\rho=915 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) e baixo potencial de evaporação [25]. Conforme mostrado na Figura 9, as partículas simulando uma pessoa espirrando foram injetadas em dois pontos distintos no fundo da cabine: próximo do corredor e junto da fuselagem, ambas a 1,10m do piso, que corresponde à região de respiração dos passageiros sentados.





**Figura 9** - Pontos de injeção das partículas expiratórias

Para minimizar a influência no escoamento do ar no interior da cabine, o gerador de partículas foi posicionado externamente ao *mock-up*, e o aerossol gerado foi injetado no ambiente interno da cabine mediante tubos metálicos e mangueiras de silicone de 10 mm de diâmetro interno, como ilustrado no detalhe na Figura 10.

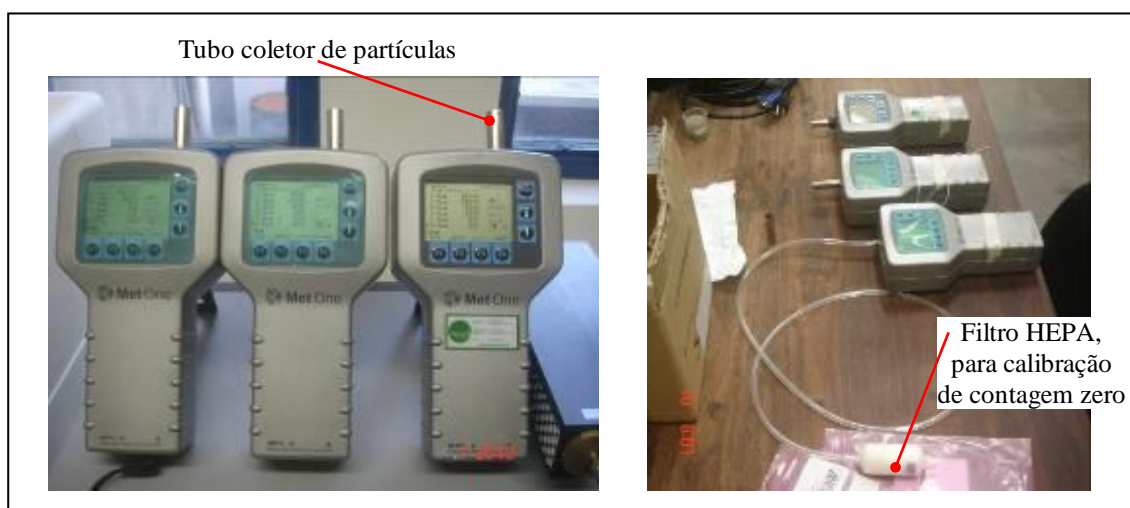


**Figura 10** - Gerador de aerossol TSI modelo 3475 e monitor PAM 3375:  
a) Posicionamento externo ao *mock-up*; b) Detalhe da medição do tamanho e da concentração das partículas

#### 2.4.2. Método de contagem das partículas

A determinação da quantidade de partículas foi realizada com contadores ópticos da marca *Met One*. Os contadores possuem 6 canais para contagem de partículas na faixa de 0,5 a 10,0  $\mu\text{m}$  (0,5 a 1,0  $\mu\text{m}$ ; de 1,0 a 3,0  $\mu\text{m}$ ; de 3,0 a 5,0  $\mu\text{m}$ ; de 5,0 a 7,0  $\mu\text{m}$ ; de 7,0 a 10,0  $\mu\text{m}$  e maior do que 10,0  $\mu\text{m}$ ). Portanto, mostram-se adequados, tendo em vista a faixa de partículas produzidas pelo gerador de aerossol.

A Figura 11 mostra os contadores quando da calibração de contagem zero, tarefa realizada idealmente sempre antes de começar as medições. Com um filtro HEPA conectado ao tubo coletor de partículas por intermédio de uma mangueira flexível de silicone, esta verificação deve anteceder as medições para avaliar se o contador não possui impurezas aprisionadas nas proximidades do seu sensor óptico que pudessem alterar o resultado das medições. Esta tarefa é executada colocando o contador em operação, o qual força o ar amostrado a passar pelo filtro HEPA, retendo considerável parte das impurezas. Assim, espera-se que durante esses testes iniciais, os contadores façam de fato contagem nula.



**Figura 11** - Contadores de partículas *Met-One*, modelo HHPC6

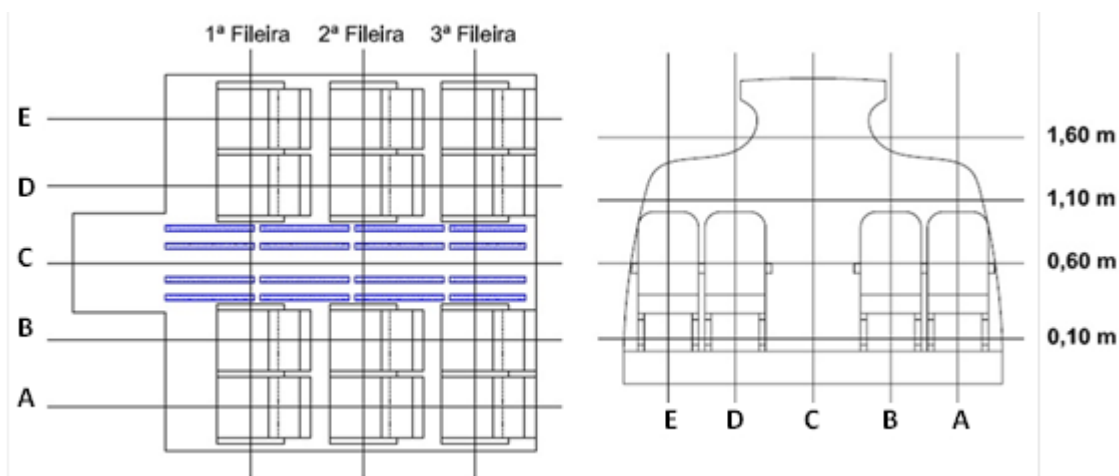
A contagem das partículas foi feita em todos os assentos da segunda fileira do *mock-up*. Para isso, os contadores foram posicionados na zona de respiração dos manequins, a 1,10 m do piso, conforme mostrado na Figura 12. Nos ensaios, o tempo de duração de cada amostragem foi ajustado em 20 segundos e o intervalo de cada amostragem foi de 10 segundos.



**Figura 12** - Posição dos contadores de partículas

## 2.5. Mapeamento das variáveis ambientais

Para a verificação das condições do escoamento e de condições de ensaio em regime permanente, as temperaturas e velocidades do ar no interior da cabine foram medidas com a utilização de termopares e anemômetros omnidirecionais, respectivamente com incertezas de medição de  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\pm (0,02 + 0,02 V) \text{ m/s}$ , que atendem aos requisitos de precisão de equipamentos da norma ISO 7730 [26]. Os planos de medição das velocidades e temperaturas são apresentados na Figura 13. Nas posições dos assentos (A, B, D, E), as cotas de altura medidas foram feitas a 0,10m; 0,60m e 1,10m. Para a posição no corredor (C), as cotas de altura medidas foram a 0,10m; 1,10m e 1,60m. Esses valores são recomendados pela ASHRAE-55 [27]. Na Figura 14, são mostrados os pontos de injeção e de medição das partículas.



**Figura 13** - Planos de medição de temperatura e de velocidade do ar no *mock-up*

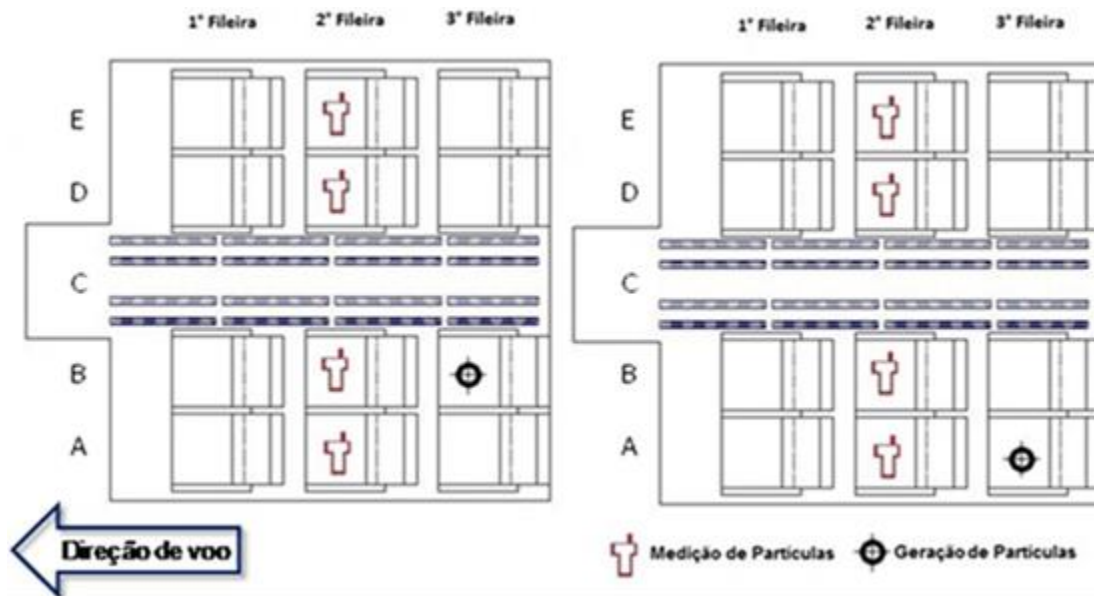


Figura 14 - Pontos de injeção e de medição das partículas

### 3. RESULTADOS

Para o entendimento de como as partículas expiratórias são dispersadas na cabine, são mostrados nas Figuras 15a e 15b o mapa dos perfis de temperatura e de velocidade ar no interior do *mock-up*, considerando o insuflamento das partículas, respectivamente, pelo corredor e pela lateral. Convém observar que os perfis de velocidade são diferentes para cada arquitetura avaliada e, função disso, resulta em diferentes padrões de distribuição de partículas na cabine, cujos resultados são mostrados nas Figuras 16a e 16b.

#### Injeção de partículas pelo corredor

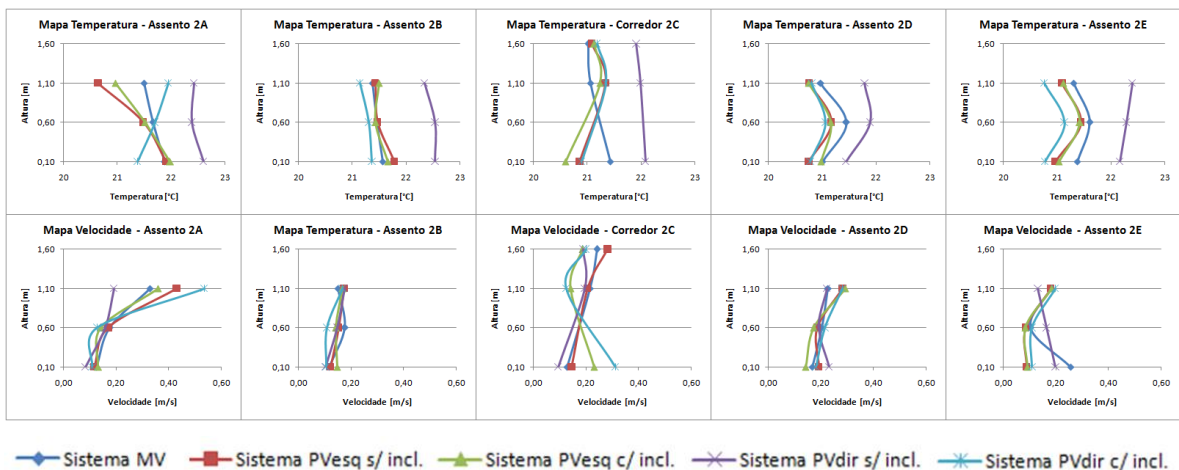


Figura 15a - Perfis de temperatura e de velocidade do ar no interior do *mock-up*

## Injeção de partículas pela lateral

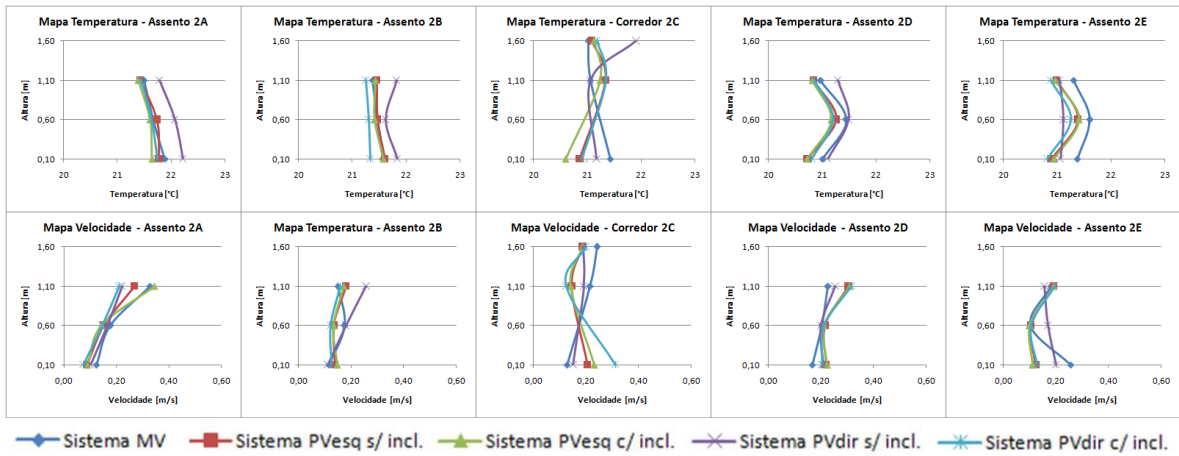


Figura 15b - Perfis de temperatura e de velocidade do ar no interior do *mock-up*

## Injeção de partículas pelo corredor

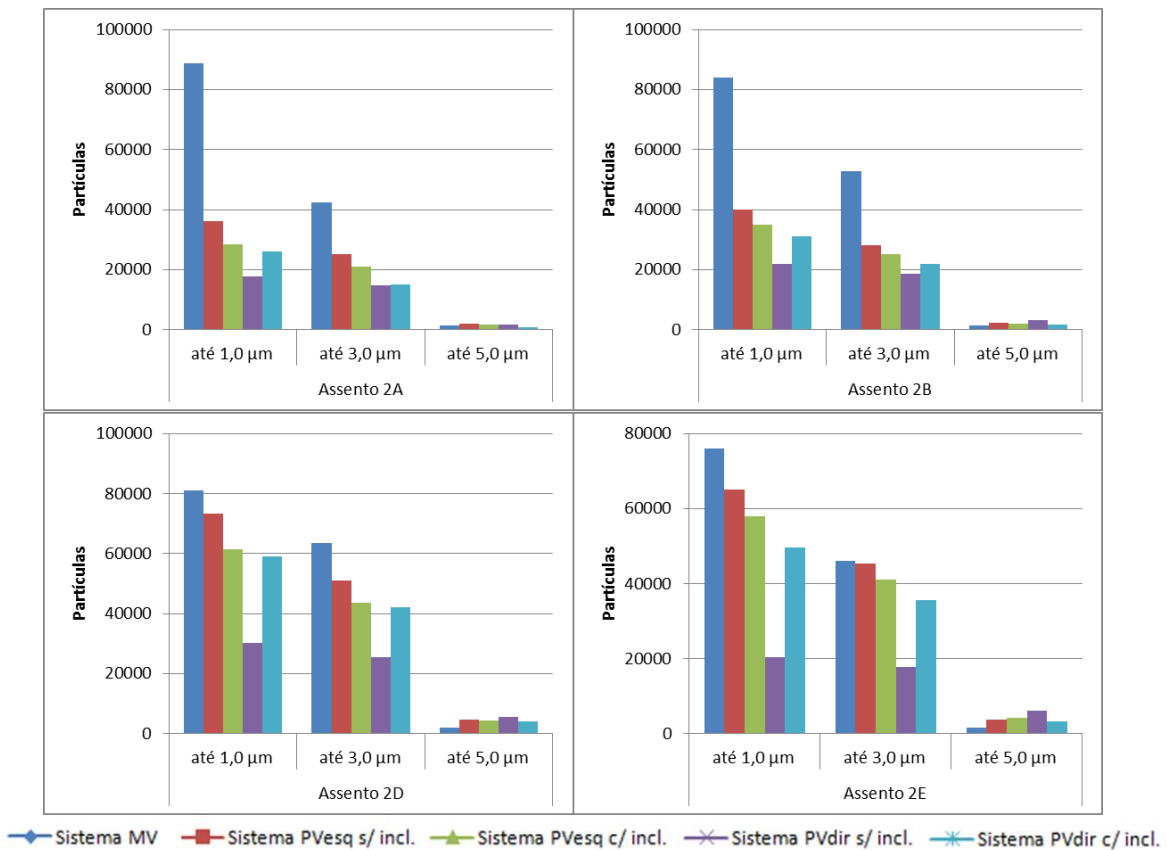


Figura 16a - Dispersão de partículas no interior do *mock-up*

## Injeção de partículas pela lateral

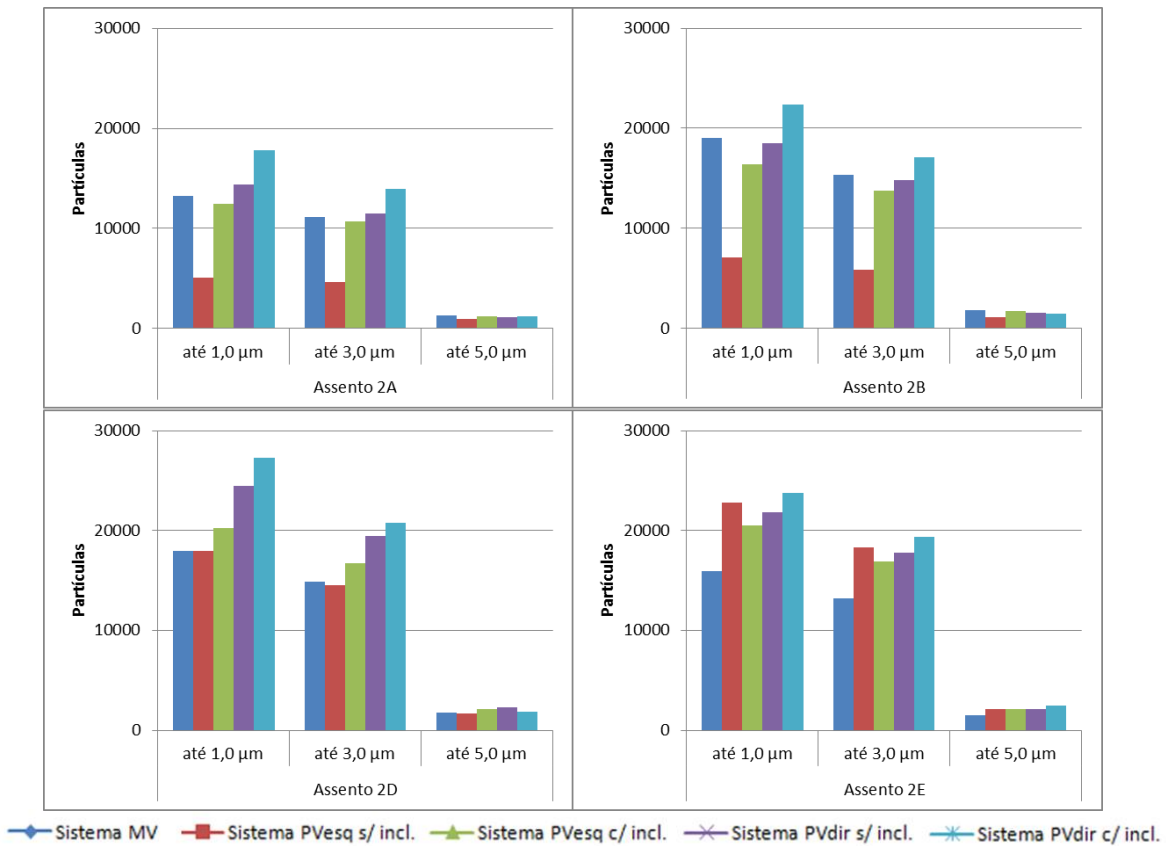


Figura 16b - Dispersão de partículas no interior do *mock-up*

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como pôde ser observado nos gráficos da Figura 15, o sistema MV do *mock-up* foi capaz de manter a temperatura do ar praticamente homogênea e com baixa estratificação, o que era de fato esperado devido à característica desta arquitetura de distribuição de ar. Quando o sistema PV foi colocado em funcionamento, nota-se que os perfis de velocidade do ar foram ligeiramente alterados, tendo significância nos resultados da dispersão de partículas expiratórias entre os assentos do *mock-up*.

Avaliando inicialmente o local de injeção das partículas, nota-se que a quantidade de partículas expiratórias dispersadas na cabine foi sempre menor quando a injeção de partículas foi feita no assento próximo da fuselagem, o que auxiliou o sistema de exaustão do *mock-up* a remover as partículas dispersadas nesta região. Em contrapartida, quando a injeção das partículas foi feita no assento junto do corredor, a quantidade de partículas dispersadas para outros pontos do *mock-up* foi maior, aumentando o risco de contaminação. Considerando-se a injeção de partículas junto do corredor, com acionamento do sistema PV da poltrona esquerda, i.e. próxima da lateral, foi observado que o sistema PV diminuiu a



quantidade de partículas na zona de respiração deste ocupante. Porém, as partículas foram dispersadas para os assentos do outro lado da cabine, i.e., para os assentos 2D e 2E. Este mesmo efeito foi observado quando o difusor do assento 2A foi inclinado.

Na análise seguinte foi acionado o sistema PV da poltrona direita, i.e., próximo do corredor, sem estar inclinado. Nesta condição observou-se que a quantidade de partículas expiratórias na zona de respiração dos ocupantes foi menor, não somente no assento avaliado, mas também para os demais assentos da fileira, denotando uma melhora global na qualidade do ar. Porém, quando o difusor da poltrona do corredor foi inclinado, a quantidade de partículas expiratórias aumentou significativamente, sugerindo que as partículas dispersadas na zona de respiração foram ressuspensas, devido à atuação do sistema PV. Ou seja, ao direcionar o jato de ar na direção ascendente, em contra fluxo com o sistema MV, dificultou-se a atuação do sistema de exaustão na parte lateral inferior da cabine.

Efeitos similares foram também observados quando a injeção das partículas se deu pelo assento próximo da lateral, indicando certo padrão em relação à dispersão de partículas expiratórias pela cabine.

Finalmente, o sistema PV instalado na poltrona no assento próximo da fuselagem e no assento próximo do corredor foi capaz de reduzir, respectivamente, em 40% e 65% a quantidade de partículas expiratórias na zona de respiração nestas poltronas. Adicionalmente, quando o sistema personalizado está funcionando junto ao corredor, a redução das partículas em toda a fileira é de quase 60% em comparação ao sistema personalizado desligado.

## **5. CONCLUSÕES**

Com o desenvolvimento do presente trabalho verificou-se que a dispersão de partículas sofre forte influência da arquitetura de ventilação utilizada e do ponto de injeção de partículas. Para diminuir os riscos de contaminação faz-se necessário que ocorra funcionamento adequado do sistema de climatização, do sistema de distribuição do ar e do sistema de ventilação personalizada. Direcionar o jato de ar diretamente para a zona de respiração prejudicou a remoção de partículas expiratórias nesta região, pois as partículas ressuspensas não foram removidas para o sistema de exaustão da cabine e, conseqüentemente, foram dispersadas para os outros assentos. Tendo em vista os resultados do sistema de ventilação personalizada estudado, entende-se que os sistemas PV auxiliam fortemente na remoção de partículas produzidas por atividades expiratórias, apresentando grande potencial para a melhoria da qualidade do ar em cabines de aeronaves.

## **6. REFERÊNCIAS**

[1] STROM-TEJSEN, P.S., WYON, D.P., ZUKOWSJA, D., JAMA, A., FANG, L. - Occupant evaluation of 7-hours exposures in a simulated aircraft cabin. Part 2: thermal effects. Beijing, China. Proceedings of Indoor Air 2005.

- [2] GRUN, G., HELLWIG, R. T., TRIMMEL, M., HOLM, A. H. - Interrelations of comfort parameters in a simulated aircraft cabin. Copenhagen, Dinamarca. Proceedings of Indoor Air 2008.
- [3] GAO, N. P., NIU, J. L. - Personalized ventilation for commercial aircraft cabins. 45<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. 8-11 January 2007, Reno, Nevada. AIAA 2007-514.
- [4] ZHANG, T., CHEN Q. - Novel air distribution systems for commercial aircraft cabins. *Building and Environment* (42):1675-1684, 2007.
- [5] STANCATO, F. - Análise do ambiente térmico de cabine de aeronave, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil. 154p., 2009.
- [6] ASHRAE Guideline - Air Quality within Commercial Aircraft. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329. 28p., 2008.
- [7] WAN, M. P., SZE TO, G.N., CHAO, C.Y.H., FANG, L., MELIKOV, A. - Modeling the Fate of Expiratory Aerosols and the Associated Infection Risk in an Aircraft Cabin Environment, *Aerosol Science and Technology*, 43: 4, 322-343. 2009.
- [8] FISER, J., MIROSLAV, J. - Impact of air distribution system on quality of ventilation in small aircraft cabin. *Building and Environment Technická* 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic. 2013.
- [9] VOLAVÝ, J., FISER, J., NÖSKE, I. - Prediction of air temperature in the aircraft cabin under different operational conditions. *EPJ Web of Conferences* 45-01096. 2013.
- [10] CONCEIÇÃO, S. T. - Contaminação aérea em cabines climatizadas: Processo de avaliação e análise da influência de sistema de ventilação personalizada. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 218p., 2012.
- [11] 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, *Building and Environment*, Helsinki. Roomvent 2007.
- [12] SILVA, E. S. - Arquiteturas de distribuição de ar em cabines de aeronaves: Análise experimental do desconforto térmico local. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil. 131p., 2013.
- [13] FABICHAK Jr., D. - Arquiteturas de distribuição de ar em cabines de aeronaves: Análise experimental da dispersão de partículas expiratórias. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil. 126p., 2013.
- [14] WALKINSHAW, D.S., 2008 - Passengers aircraft indoor air quality challenges and solutions. Part II – Presentation to the ASHRAE Ottawa Valley Chapter Meeting, May 20<sup>th</sup>, 2008.
- [15] WALKINSHAW, D. S. - Venturi Filtration added to gaspers, diffusers, VAV boxes and air curtains – C162-10. Published in ASHRAE IAQ Conference 2011.
- [16] LI, B., LI, J., HUANG, Y., YIN, H., LIN, C.-H., WEI, D., SHEN, X., LIU, J., and CHEN, Q., 2016. - Experimental studies of thermal environment and contaminant transport in a commercial aircraft cabin with gaspers on, Accepted by *Indoor Air*.

- [17] ZHANG, T., LI, P. H., WANG, S. G. - A personal air distribution system with air terminals embedded in chair armrests on commercial airplanes. *Building and Environment* (41):89-99, 2012.
- [18] CELLINE, P. R., FABICHAK Jr., D., TRIBESS, A. - Influência de sistema de ventilação personalizada instalado na poltrona na dispersão de partículas expiratórias em cabine de aeronave, Simpósio de Engenharia Automotiva (SIMEA), São Paulo, 2016.
- [19] CELLINE, P. R. - Estudo experimental da influência de sistema de ventilação personalizada instalado na poltrona na dispersão de partículas expiratórias em cabine de aeronave. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil. 123p., 2017.
- [20] ANSI/ASHRAE Standard 161 - Air Quality within Commercial Aircraft. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329. 2007.
- [21] FANGER, P. O. - Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York, 245 p., 1972.
- [22] FANGER, P. O., MELIKOV, A. K., HAMNZAWA, H., RING, J., - Air turbulence and sensation of draught. *Energy and Buildings*, 12: 21-39, 1988.
- [23] DUGUID, J. P. - The Size and the Duration of Air-Carriage of Respiratory Droplets and Droplet-Nuclei, *J. Hyg.* 44:471-479, 1946.
- [24] YAN, W., ZHANG, Y., SUN, Y., LI, D. - Experimental and CFD study of unsteady airborne pollutant transport within an aircraft cabin mock-up. *Building and Environment* (44):34-43, 2009.
- [25] HINDS, W. C. - Aerosol Technology. New York, John Wiley Sons, Inc., 1999.
- [26] ISO 7726 - Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities, International Organization for Standardization, Geneva, 1998.
- [27] ASHRAE 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc., 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329, 2013.