



## REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

São Paulo Expo – 23 à 25 de novembro de 2021

# ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE AR PARA A MITIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO CRUZADA EM AMBIENTES COM PACIENTES ISOLADOS

## PAPER 62

### RESUMO

Atualmente, o principal método de transmissão de doenças pelo ar é o aerossol. Em ambientes hospitalares tem-se uma grande preocupação no controle desse tipo de disseminação, principalmente no que diz respeito às contaminações cruzadas. Uma forma de contaminação cruzada, normalmente negligenciada em projetos dessa área, é a que atinge o acompanhante e/ou os profissionais que mantêm contato com o paciente em isolamento. O objetivo desse trabalho é analisar, via método CFD, a distribuição de ar nesses ambientes de forma a mitigar ao máximo essas possíveis transmissões.

**Palavras-chave:** Transmissão de doenças, isolamento, distribuição de ar, CFD.

### ABSTRACT

Currently, the main method of transmitting diseases through the air is aerosol. In hospital environments, there is a great concern in the control of this type of dissemination, especially in concern to cross-contamination. A form of cross-contamination, normally neglected in projects in this area, is that which affects the companion and / or the professionals who maintain contact with the patient in isolation. The objective of this work is to analyze, using the CFD method, the air distribution of this ambients in order to mitigate these transmissions as much as possible.

**Keywords:** Diseases transmission, isolation, air distribution, CFD.

## 1 INTRODUÇÃO

As doenças respiratórias são as mais comuns de serem transmitidas. Elas podem atingir as pessoas através da poeira, pelos de animais, fumaça, odores e perfumes que atuam como agentes alérgicos. Além disso, a poluição do ar também contribui para a causa dessas doenças, ao passo que prolifera partículas e fungos tóxicos. As principais formas de transmissão acontecem pela inalação por via respiratória ou pelo toque em superfícies infectadas, seguido pelo contato com a boca, olhos e nariz.

Em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS), esse assunto tem uma maior proporção e gera uma maior preocupação nesse quesito, pois é um ponto forte de concentração de pessoas e doenças das mais variadas formas. Além disso, em tempos de pandemia que se vive hoje, essa preocupação torna-se muito maior devido aos efeitos que o Covid-19 está alastrando em todo o mundo.

Em um hospital, tem-se vários ambientes classificados como “salas limpas”, dentre eles o chamado “Quarto para isolamento de pacientes com infecção transmitida pelo ar”, segundo a norma ABNT NBR 7256. Muito se preocupa em isolar esse tipo de ambiente dos seus respectivos ambientes

adjacentes, e como consequência, na maioria das vezes outro tipo de contaminação cruzada é negligenciada: a contaminação de acompanhantes e profissionais em contato direto com o paciente. Uma forma de reduzir esse tipo de contaminação é utilizar a melhor solução para a distribuição do ar nesse tipo de ambiente, principalmente o ar exaurido.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA**

### **2.1 Sistema de distribuição de ar em quartos isolados**

Britto (2011) afirma que para conseguir obter uma sala ou ambiente com risco zero de contaminação, ou seja, totalmente isento de particulados, teria-se que operar com uma câmara completamente selada. Além disso, ele cita que até os próprios componentes da sala limpa são geradores de particulados.

A principal fonte de contaminação proveniente de um quarto isolado para pacientes com doença transmissível pelo ar está dentro do ambiente. Assim, o principal estudo a ser realizado para a mitigação de possíveis contaminações cruzadas tem que provir da movimentação do ar dentro do próprio quarto.

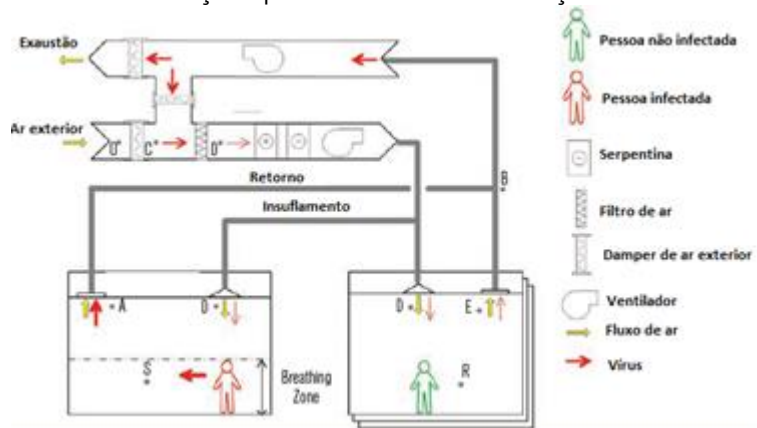
A primeira análise a ser feita é sobre o conforto do paciente. Apesar de estar contaminado, deve-se não só pensar no isolamento dessa pessoa, mas como também na geração de um ambiente confortável para ela. Além disso, por estar com a imunidade baixa e completamente exposto, deve-se pensar também na proteção do paciente em relação ao ar insuflado nesse tipo de ambiente, ou seja, o sistema de filtragem deverá ser bem dimensionado para evitar-se novas contaminações para o paciente isolado.

Da Costa (2016), elaborou um estudo de um projeto de climatização para uma unidade farmacêutica e percebeu que as pessoas são a grande fonte de contaminação nesses ambientes. Com alguns testes e simulações de nível de particulados no ambiente, ele percebeu que apenas com a paramentação e proteção adequada dos profissionais que acessavam a área, já foi possível constatar uma diminuição do grau de liberação de contaminantes.

Manassypov (2020), estudou sobre a eficiência dos sistemas de tratamento de ar, em relação a propagação de doenças. De acordo com ele, o sistema de ar condicionado cria uma movimentação de ar no espaço, na faixa de velocidade de 0,1m/s a 0,25m/s. Esse movimento espalha a carga viral presente no ambiente e impede que ela assente.

Simples cálculos mostram que a carga viral é transportada pelos dutos, por meio do sistema de climatização com recirculação (MANASSYPOV, 2020). A figura 1 ilustra esquematicamente o caminho da carga viral contaminando outras fontes através do sistema de distribuição de ar.

Figura 1 – Contaminação por meio de distribuição de ar com dutos

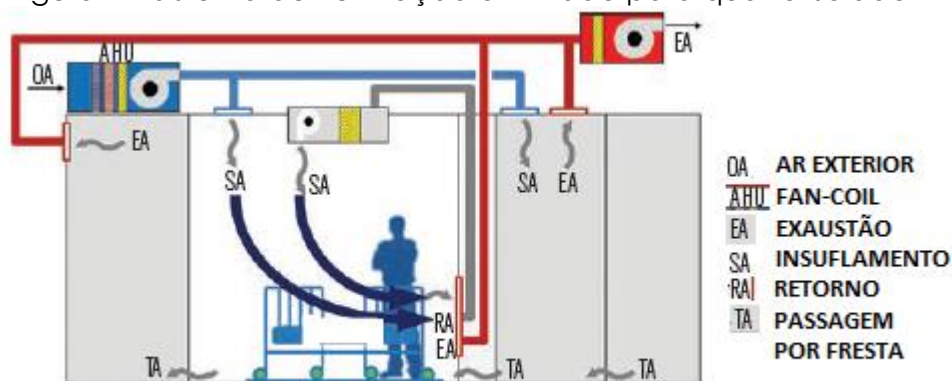


Fonte: Adaptado de Manassypov (2020)

Por isso, são importantes o controle e a filtragem do ar contaminado ao ser retirado do ambiente onde se encontra a fonte de contaminação. Para casos de isolamento, o sistema de climatização deve ser individual, de preferência sem recirculação e o fluxo de ar nunca deverá percorrer de um ambiente com um nível de risco mais alto para um ambiente com nível de risco mais baixo.

Para Kim (2019), o posicionamento das grelhas de exaustão em um ambiente isolado é um fator fundamental para a mitigação de contaminações cruzadas. Ele modelou 3 (três) tipos de sistemas para a exaustão do ar desse tipo de ambiente e realizou simulações computacionais para analisar as concentrações de partículas e sua movimentação para cada caso. Chegou-se à conclusão de que o melhor posicionamento das grelhas de exaustão é próximo a cabeceira da cama do paciente, ou seja, o mais próximo possível do foco da contaminação. A figura 2 ilustra de forma esquemática o fluxo realizado pelo ar insuflado e o ar exaurido de forma que o ar contaminado (região próxima às vias respiratórias do paciente) não passe pelos locais de ocupação de outras pessoas.

Figura 2 – Sistema de ventilação otimizado para quarto isolado



Fonte: Adaptado de Kim (2019)

## 2.2 Normas sobre sistemas de ventilação e climatização de quartos isolados

Atualmente, no Brasil, existem algumas normativas e legislações que regem alguns parâmetros a serem adotados em quartos isolados. A principal delas é a ABNT NBR 7256 (2005), que rege as premissas a serem adotadas para o tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da RDC 50 (2002), dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.

O Brasil possui outras normas e regulamentações, além das já citadas, que ajudam a desenvolver a manutenção e tratamento da qualidade do ar em ambientes hospitalares. Elas estão listadas abaixo:

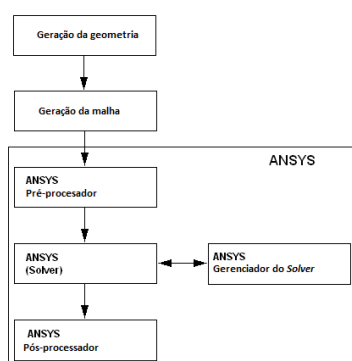
- ABNT NBR 16401:2008 – Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários;
- ABNT NBR ISO 14644 – Salas limpas e ambientes controlados associados;
- ABNT NBR 16101:2012 – Filtros para partículas em suspensão no ar – Determinação da eficiência para filtros grossos, médios e finos;
- ABNT NBR 14679:2012 - Sistemas de condicionamento de ar e ventilação – Execução de serviços de higienização.

## 2.3 Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD)

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) trata da simulação numérica de escoamentos de fluidos, transferência de calor e fenômenos relacionados. Consiste na substituição dos sistemas de equações diferenciais (EDP) por um conjunto de equações algébricas que podem ser resolvidas usando computadores. A origem do CFD parte da combinação da mecânica dos fluidos com o cálculo numérico, aliado a tecnologia dos computadores (RODRIGUES, 2019).

Esse método utiliza basicamente 3 (três) etapas para o desenvolvimento do cálculo numérico: o pré-processador, o solver e o pós-processador (VERTEEG; MALALASEKERA, 2007). A figura 3 ilustra um diagrama da sequência de etapas do cálculo.

Figura 3 – Sequência de etapas do CFD



CONBRAVA 2021 – São Paulo Expo, 23 à 25 de novembro de 2021 - São Paulo, Brasil

O pré-processador tem a função de definir, caracterizar e descrever o problema a ser resolvido. O solver é a etapa onde a solução global do problema será fornecida, baseando-se nas soluções obtidas para cada volume de controle especificado no pré-processador. O pós-processador é a etapa que permite a visualização dos resultados gerados pela etapa anterior.

O método CFD baseia-se nas equações listadas a seguir (ANSYS):

Conservação da massa (1)

$$\partial\rho/\partial t + \text{div}(\rho\vec{u}) = 0$$

Conservação da quantidade de movimento (2)

$$(\partial(\rho u_i)/\partial t) + \text{div}(\rho u_i \vec{u}) = -(\partial p/\partial x_i) + \text{div}[\mu \text{grad}(u_i)] + S M_i$$

(3)

Conservação da energia

$$(\partial(\rho i)/\partial t) + \text{div}(\rho i \vec{u}) = -p \text{div}(\vec{u}) + \text{div}[k \text{grad}(T)] + \Phi + S_i$$

(4)

Modelo de turbulência k-ε

$$(\partial(\rho k)/\partial t) + \text{div}(\rho k \vec{U}) = \text{div}[(\mu_t/\sigma_k) \text{grad}(k)] + 2\mu_t S_{ij} \cdot S_{ij} - \rho \epsilon$$

$$(\partial(\rho \epsilon)/\partial t) + \text{div}(\rho \epsilon \vec{U}) = \text{div}[(\mu_t/\sigma_\epsilon) \text{grad}(\epsilon)] + C_1 \epsilon (\epsilon/k) 2\mu_t S_{ij} \cdot S_{ij} - C_2 \epsilon \rho (\epsilon^2/k)$$

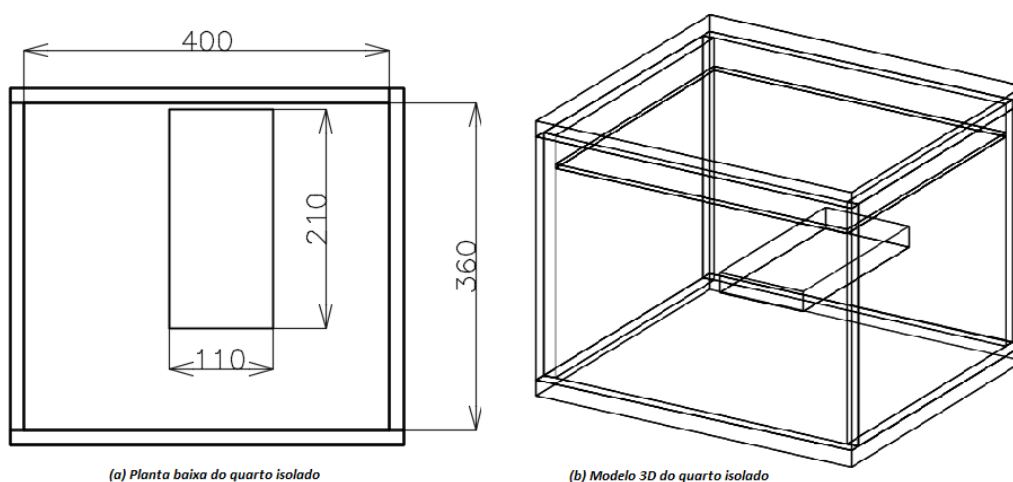
(5)

### 3 MODELAGEM DO QUARTO ISOLADO EM ESTUDO

#### 3.1 Características físicas

Para o estudo de caso, foi considerado um quarto isolado com largura de 3,6m, comprimento de 4m e pé direito de 3m. Além disso, foi considerado 1 (uma) pessoa infectada no ambiente, ou seja, foi considerado o volume de apenas uma cama, com um dimensional de largura de 1,1m, comprimento 2,1m e espessura de 0,2m. A figura 4 ilustra a planta baixa e o modelo 3D desse ambiente.

Figura 4 – Caracterização do quarto isolado modelo



Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.2 Condições termodinâmicas dos ambientes

As condições termodinâmicas, tanto do ambiente externo, quanto do ambiente interno, influenciam diretamente no cálculo da vazão de ar. Sendo assim, é necessário definir a localização do ambiente em análise, bem como as condições internas desejadas dentro do ambiente.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi considerada a cidade de Belo Horizonte -MG como a localidade do cálculo. A tabela 1 resume as condições térmicas dessa cidade, de acordo com a ABNT NBR 16401.

Tabela 1 – Condições termodinâmicas de Belo Horizonte

Condições externas de verão	
Temperatura de Bulbo Seco (°C)	32,1
Temperatura de Bulbo Úmido (°C)	22,6
Umidade relativa (%)	45,9
Densidade do ar (m <sup>3</sup> /kg)	0,9726

Fonte: Elaborada pelo autor

Em relação às condições internas, elas foram definidas segundo as definições de conforto da ABNT NBR 16401 (2008) e estão descritas na tabela 2.

Tabela 2 – Condições termodinâmicas internas do quarto

Condições externas de verão	
Temperatura de Bulbo Seco (°C)	23
Temperatura de Bulbo Úmido (°C)	16
Umidade relativa (%)	50
Densidade do ar (m <sup>3</sup> /kg)	0,9358

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.3 Resumo dos cálculos

Foram realizados os cálculos de vazão de ar para o desenvolvimento da simulação. Esses cálculos estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3 – Resumo dos cálculos de vazão

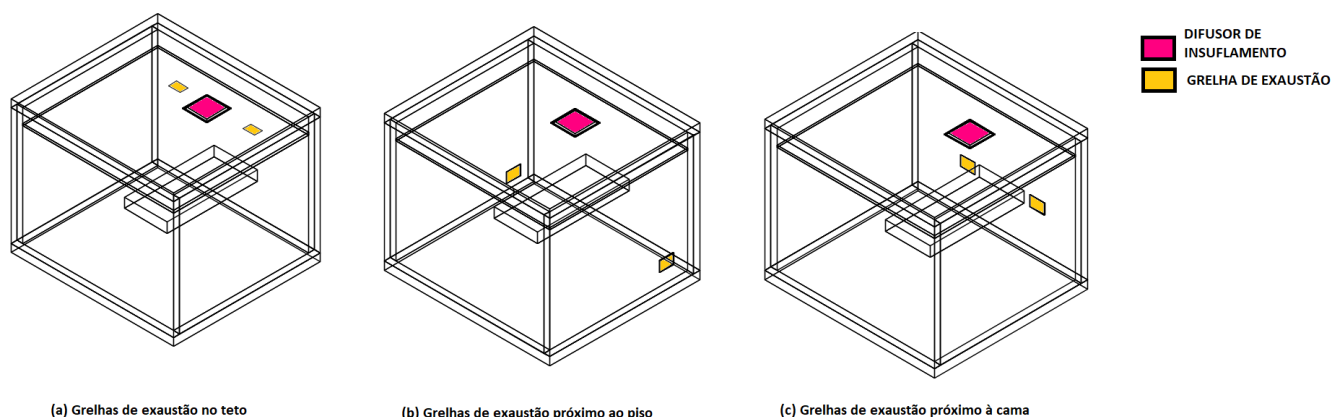
Vazão de insuflamento (m <sup>3</sup> /h)	800
Diferencial de pressão (Pa)	5
Vazão de exaustão (m <sup>3</sup> /h)	920

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.4 Posicionamento das entradas e saídas de ar

Para o desenvolvimento do estudo sobre a distribuição de ar em ambientes de quarto isolado, foram previstos 3 (três) posicionamentos diferentes para as grelhas de exaustão. No primeiro, as grelhas de exaustão se encontram no teto no ambiente, ao lado do difusor de insuflamento. No segundo, as grelhas foram alocadas nas paredes laterais do quarto, próximas ao piso. Já na terceira opção, as grelhas foram posicionadas na cabeceira da cama, o mais próximo do foco de contaminação. Além disso, a entrega de ar climatizado foi posicionada na mesma posição nos três casos, acima da cama do paciente. A figura 5 ilustra esses três posicionamentos.

Figura 5 – Posicionamento das grelhas de exaustão: (a) teto, (b) piso e (c) cama



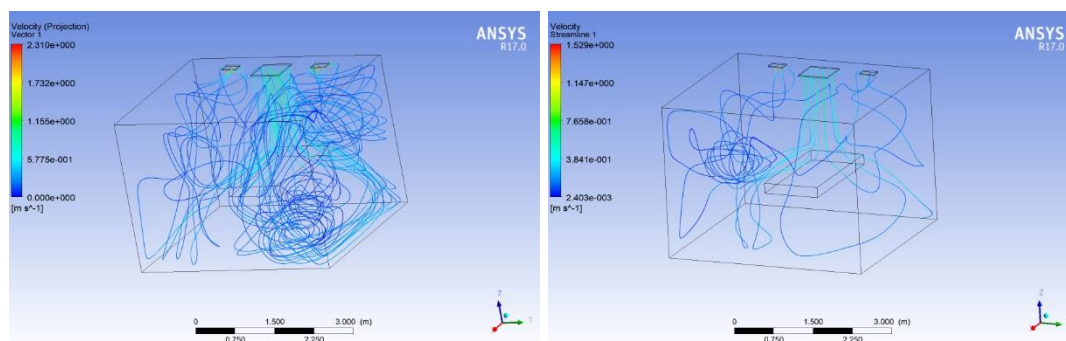
Fonte: Elaborado pelo autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Simulação 1 – exaustão do ar posicionada na parte superior do ambiente

A simulação da distribuição de ar foi realizada, via método CFD, pelo software ANSYS CFX. A figura 6 mostra as imagens dos resultados da primeira simulação.

Figura 6 – Simulação 1 – grelhas no teto



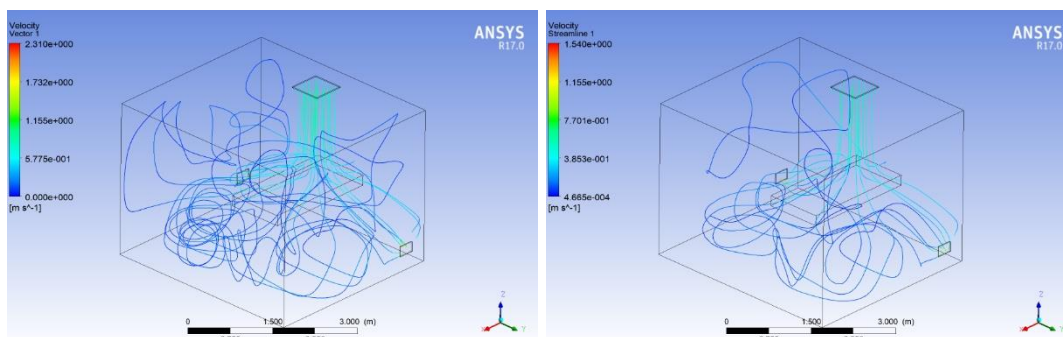
Fonte: Elaborado pelo autor

As linhas coloridas representam os vetores de velocidade relacionados à movimentação do ar, quanto mais escuro menor a velocidade. Percebe-se, que essa disposição de grelha contribui para uma maior agitação do ar na sala e uma mistura de ar contaminado com ar “limpo”.

## 4.2 Simulação 2 – exaustão do ar posicionada na parte inferior do ambiente

A figura 7 mostra as imagens dos resultados da segunda simulação, com a exaustão próxima ao piso.

Figura 7 – Simulação 2 – grelhas no piso



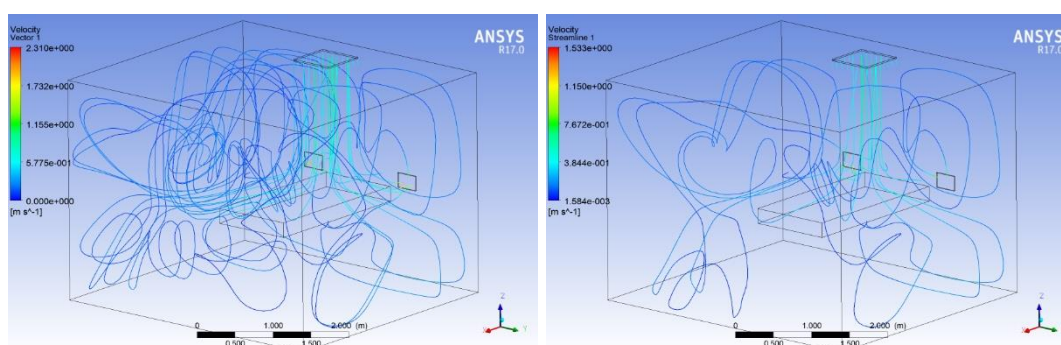
Fonte: Elaborado pelo autor

As linhas coloridas representam os vetores de velocidade relacionados à movimentação do ar, novamente, quanto mais escura a linha menor a velocidade. Verifica-se, que essa disposição de grelha contribui para uma melhor distribuição do ar, gerando uma menor movimentação do ar. Porém, essa solução pode afetar profissionais da saúde e ou acompanhantes que estiverem nas intermediações das grelhas.

## 4.3 Simulação 3 – exaustão do ar posicionada próxima ao foco

A figura 8 mostra as imagens dos resultados da terceira simulação, referida à grelhas de exaustão próximas à cama.

Figura 8 – Simulação 3 – grelhas próximas à cama



Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se, que essa disposição de grelha contribui para uma melhor distribuição do ar, gerando uma menor movimentação do ar. Além disso, essa solução já retira grande parte do ar infectado já próximo ao foco.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, dentre as opções analisadas, qual o posicionamento de entradas e saídas de ar mais eficientes, no que se refere a mitigação de contaminações cruzadas dentro de quartos isolados.



CONBRAVA 2021 – São Paulo Expo, 23 à 25 de novembro de 2021 - São Paulo, Brasil  
Notou-se que o posicionamento das grelhas no teto do quarto é o menos eficiente nesse combate. Além de causar um curto circuito com o ar de insuflamento, a exaustão na parte superior favorece a movimentação e a mistura de ar contaminado com ar limpo.

Já a opção das grelha localizadas na parte inferior do ambiente se mostrou mais eficaz que a primeira opção, porém ainda resulta numa grande movimentação de ar contaminado nas zonas adjacentes ao foco (cama com o paciente infectado).

A opção que se mostrou a mais eficaz foi o posicionamento das grelhas o mais próximo possível da cama. Esse posicionamento, além de prover uma menor movimentação do ar nas zonas limpas, retira grande parte do ar contaminado junto ao foco.

Os resultados demonstram que as localizações das grelhas de exaustão permitem estabelecer um controle mais efetivo da disseminação das contaminações, permitindo a escolha da melhor configuração de distribuição de ar.

## **AGRADECIMENTOS**

Reserva-se os agradecimentos desse trabalho à instituição Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e ao Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica (PROPEM – UFOP). Agradecimentos também à ABRAVA pela oportunidade de apresentação sobre um tema completamente relevante para o momento atual. É um agradecimento especial à Climatizar Engenharia pelas conhecimentos fornecidos.

## **REFERÊNCIAS**

- ANSYS Fluent 17.1 Theory Guide, ANSYS Inc. (2017)  
BRITTO, J. F. Projeto básico de salas limpas – Parte 1, 2011;  
BRITTO, J. F. Projeto básico de salas limpas – Parte 2, 2011;  
COSTA, P. N. S. U. P. Projeto de AVAC para uma Unidade Farmacêutica, Lisboa, 2016;  
KIM, B. S. Improved Ventilation System for Removal of Airborne Infectious Rooms, 2019;  
MANASSYPOV, R. Evaluating Virus Containment Efficiency Of Air-Handling Systems, 2020;  
RODRIGUES, A. Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD): O que é? Para que serve? Porque usar, 2019;  
VERSTEEG, H.K.; MALALASEKERA, W. An introduction to computational fluid dynamics. 2. Ed.: Pearson Prentice Hall, 2007;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7256 – Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) - Requisitos para projeto e execução das instalações;  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 14644 – Salas limpas e ambientes controlados associados;  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14679:2012 - Sistemas de condicionamento de ar e ventilação – Execução de serviços de higienização.  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 16101:2012 – Filtros para partículas em suspensão no ar – Determinação da eficiência para filtros grossos, médios e finos;

CONBRAVA 2021 – São Paulo Expo, 23 à 25 de novembro de 2021 - São Paulo, Brasil  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 16401:2008 – Instalações de ar  
condicionado – Sistema centrais e unitários;