

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE UM FILTRO HEPA PORTÁTIL NA QUALIDADE DO AR DE UMA UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA POR MEIO DE CFD E CONTAGEM DE PARTÍCULAS

Sidclei Benevides da Conceição – sidclei.engenhariaclinica@gmail.com
Edson Palhares Leite – edsonpleite@gmail.com
Camila Rocha da Silva - camila.engenhariaclinica@gmail.com
Érica Cristiane Oliveira de Jesus – ericaoliveira@martagaogesteira.org.br
Mário Sérgio – mario@msa.com.br
Liga Álvaro Bahia contra a Mortalidade Infantil, martagaogesteira.com.br/

Fundamento de HVAC&R* - F2- Qualidade Ambiental Interna

Resumo. As unidades de terapia intensiva modificaram a forma de tratar pacientes com doenças graves, principalmente em cenários de alto risco de morte. Com o passar dos anos, novos equipamentos e técnicas têm sido desenvolvidas, tornando a medicina intensivista uma área extremamente especializada. A qualidade do ar destas unidades deve seguir rígidas recomendações impostas por órgãos conceituados que regulamentam Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS). As NBR 7256 e 14644-1 são alguns exemplos de normas que ditam e recomendam parâmetros que visam garantir uma assistência de qualidade e isenta de erros. Neste sentido, este estudo busca analisar a qualidade do ar da sala de isolamento de uma Unidade de Terapia Intensiva mediante a inserção de um filtro HEPA (High Efficiency Particulate Air) portátil, para então, certificá-la em uma das ISO de salas limpas dispostas na NBR 14644-1, e, garantir que o ambiente possui condições necessárias para receber pacientes com os mais variados graus de complexidades, considerando a análise de parâmetros referentes a qualidade do ar. O desenvolvimento deste estudo, se mostra importante na percepção da influência e comprovação da eficácia do equipamento, considerando importante o entendimento do comportamento de variáveis quantitativas, bem como, a concentração de partículas com diferentes tamanhos em suspensão no ar, podendo estas serem vírus, bactérias, ácaros, entre outros. Por meio de simulação computacional é possível compreender o comportamento de variáveis físicas, como o padrão do fluxo do ar na sala, analisando linhas de fluxo e perfis de velocidade, para então, chegarmos a um parecer técnico sobre o comportamento do ar nestes ambientes. Por fim, conclui-se que através das análises realizadas é possível dimensionar, com base nas normas apresentadas, a melhor forma de inserir o filtro HEPA portátil na sala de isolamento da unidade de terapia intensiva.

Palavras-chave: Qualidade do ar; Salas Limpas; Fluidodinâmica Computacional; Contagem de Partículas.

1. INTRODUÇÃO

É do conhecimento de todos que a qualidade do ar que respiramos tem um impacto direto na nossa saúde podendo ser a principal causa de sérios problemas. Este cuidado com a qualidade do ar, deve ser uma questão de prioridade, em especial, quando lidamos com pessoas mais vulneráveis, como crianças, idosos e pacientes com doenças crônicas e imunidade baixa. A qualidade do ar em ambientes hospitalares deve atender os requisitos normativos básicos de segurança e bem-estar para todos (Lima de Paula, 2003; Quadros, 2008).

O interesse por estudos sobre a qualidade do ar de interiores surgiu após a descoberta de que a diminuição das taxas de troca de ar nesses ambientes era a grande responsável pelo aumento da concentração de poluentes biológicos e não biológicos. Essa preocupação se justifica uma vez que grande parte das pessoas passa a maior parte do seu tempo dentro desses edifícios e, consequentemente, exposta aos seus poluentes (Turriel *et al*, 1983; Lee; Awbi, 2004).

A contaminação de vírus e bactérias pelo ar pode ocorrer de diversas formas. Em ambientes hospitalares, essa contaminação pode ocorrer através da geração de gotículas como tosse, espirro, aspiração de secreções. Além disso, pode ocorrer através da própria interação habitual entre pacientes, ou por transmissão aérea por partículas dispersas no ar (Lima de Paula, 2003).

Os bioaerossóis são a microbiota dispersa no ar (fungos, bactérias, algas, vírus, entre outros). Quando presentes no ar interno, esses microrganismos podem causar irritações, alergias, doenças e outros efeitos tóxicos (Grigorevski-Lima *et al.*, 2006). O indivíduo é contaminado por via aérea quando o agente microbiano é inalado e retido no trato respiratório em local propício ao seu desenvolvimento (Rosa e Lisboa, 2005).

Os pacientes de unidades de terapia intensiva apresentam maior risco de adquirir infecção hospitalar devido aos seguintes fatores: severidade da doença de base, muitas vezes ocasionando deficiência da imunidade humoral, celular e/ou inespecífica; procedimentos invasivos a que são submetidos, antes e após admissão em UTI (Unidade de Terapia Intensiva), como ventilação mecânica; tempo de internação prolongado; alta densidade populacional e alta relação paciente-enfermeiro (Abramczyk e Richmond, 2006).

O conceito de qualidade do ar interno não é recente. Há publicações do início do século XIV que discutem o assunto e já sugerem que a solução para problemas de qualidade do ar interno é a ventilação adequada dos ambientes (Haines e Wilson, 1998). Neste sentido, normas, recomendações e notas técnicas de órgãos respeitados na área da saúde, veem apresentando um denso conteúdo com o objetivo de manter certo do padrão de qualidade do ar. A ABNT NBR 7256 (2005) fornece as recomendações necessárias referente ao tratamento de ar em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

(EAS) apresentando os requisitos básicos para elaboração do projeto e execução das instalações. O Centro de Controle e Prevenção de Doenças – CDC9 (2019), também apresenta uma série de rígidas recomendações neste sentido, sendo uma referência internacional na área. A ABNT NBR ISO 14644-1 (2005) fornece as diretrizes para classificação de salas limpas e ambientes associados, dando parâmetros para classificação da limpeza do ar.

É necessário partir destas diretrizes para criar novas estratégias, utilizando dos conceitos de engenharia para se obter resultados confiáveis que venham garantir qualidade do ar de determinado ambiente. OS filtros de ar são os componentes responsáveis por garantir que o ar insuflado no recinto ocupado seja livre de contaminantes, por exemplo, no ar atmosférico empregado para fins de renovação, quaisquer elementos em concentração acima dos limites pré-estabelecidos podem ser considerados contaminantes, sejam partículas em estado sólido, líquidos ou gases. Portanto, para cada aplicação um adequado nível de filtro deve ser empregado (Rein, 2019).

Em algumas cidades no mundo como Hong Kong, os filtros portáteis são vistos como uma solução para determinadas instalações com limitações físicas de projeto. Acredita-se que o uso de um filtro HEPA (*High Efficiency Particulate Air*) em uma sala auxilie no reduzindo o risco de transmissão de doenças infecciosas através da remoção de partículas para as quais patógenos podem ser anexados. Filtros HEPA são geralmente instalados nos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (Sistema HVAC - *Heating, Ventilating and Air Conditioning*); no entanto, filtros portáteis podem ser necessários quando o sistema HVAC central não se torna viável. Qian (2010) realiza um estudo que visa analisar a influência de um filtro portátil em um hospital de campanha e obtém resultados promissores quanto a utilização do aparelho.

Desse modo, o presente trabalho se propõe a analisar a influência da presença de um filtro HEPA portátil (Purificador Green Air) em uma unidade de terapia intensiva de um Hospital pediátrico na cidade de Salvador, observar e compreender o comportamento das linhas de fluxo mediante a variações do layout dos equipamentos dentro da unidade, e, por fim, analisar a concentração de partículas dentro da sala após determinada uma configuração final de instalação.

2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO, ANÁLISE CFD E CONTAGEM DE PARTÍCULAS

O primeiro passo para desenvolver as análises foi conhecer bem o equipamento que seria utilizado, suas funções desempenhadas, capacidade técnica, limitações e contraindicações. Após vencida esta etapa, foi iniciado o processo de análise computacional, compreendendo de forma realista e aprofundada como o fenômeno físico-matemático e as propriedades da fluidodinâmica se relacionavam, assim, foi possível definir o modelo matemático, equações governantes, geometria e malha computacionais, condições de contorno e condições iniciais utilizados. Por fim, foi realizada a contagem de partículas enquanto o equipamento era utilizado e todo o sistema se encontrava em funcionamento.

A sala em estudo é um leito de isolamento de uma unidade de terapia intensiva com área total de 11.19m². Ao se desconsiderar o banheiro do acompanhante a área efetiva do leito é de 8.33m². Este valor foi utilizado nos cálculos por entender que a maior parte do tempo a porta do banheiro se mantém fechada, sendo, portanto, isolado do leito. A distância entre o piso e o teto da sala mede cerca de 2,7m, o que fornece o volume total de 22.49m³ para a sala. A Fig. 1 (a) contém sua planta baixa (b).

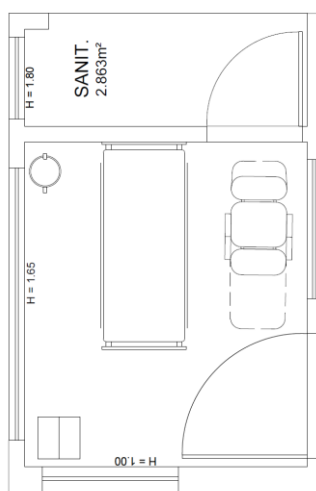


Figura 1. Plata Baixa do Leito de Isolamento

2.1 Filtro HEPA Portátil – Green Air SS380: especificações técnicas e componentes

O Filtro HEPA Portátil SS380 *Medic Air* é fabricado pela empresa *Green Air*, é utilizado em residências, hospitais e estabelecimentos de saúde. O fato destes aparelhos serem portáteis os tornam mais atrativo. Essa possibilidade de re-manejamento permite que no dimensionamento da unidade, várias configurações e layouts de instalação sejam possíveis de ser avaliadas. A Figura 2 ilustra o aparelho filtro portátil utilizado.



Figura 2. Filtro HEPA Portátil *Green Air*

O *Green Air* SS380 Medic-Air possui dois pré-filtros que servem como barreira para partículas grandes e pequenas em escala de centímetros, um filtro HEPA H-13 que possui capacidade de retenção de 99,97% das partículas com tamanhos similares ao de ácaros. Possui também um filtro de carvão ativado para eliminar compostos voláteis, um filtro catalítico que atua agindo na eliminação de vírus, uma lâmpada UVG germicida e um ionizador. São ao total sete barreiras a serem vencidas durante o processo de filtração. As especificações técnicas do filtro HEPA portátil encontra-se na Tab. 1.

Tabela 1. Especificações Técnicas do Purificador de Ar *Green Air*

Dados Técnicos	Valor
Vazão Máxima	380 m ³ /h
Tamanho – A/L/P	60 x 40 x 14 cm
Entrada Lateral	40 x 3,5 cm
Saída Superior	30 x 10 cm
Peso	12 kg
Tensão	220 v
Potência	75w

2.2 Análises de Fluidodinâmica Computacional

A geometria e a malha computacional foram criadas usando o módulo ANSYS CFD® *Release 2020 – Academic*. Os domínios de estudo foram criados por meio da definição de pontos, curvas, superfícies e sólidos descrevendo o seu tamanho e o seu formato. A UTI foi representada em suas dimensões exatas.

A Figura 3. ilustra a geometria computacional gerada e utilizada, inicialmente, apenas foi considerado os itens que teriam alguma influência relevante para o sistema de interesse. O ar-condicionado está localizado na parte superior da parede em frente ao leito. O filtro HEPA não está incluído na imagem pois a ideia inicial é compreender qual sua melhor opção de local para inseri-lo (Layout 1 ou Layout 2).

A ideia era simplificar o modelo o máximo possível sem comprometer as soluções numérico-matemáticas. O quarto de isolamento possui alguns equipamentos médicos como bombas de infusão e monitor multiparamétrico, mas estes itens não acrescentam nenhuma informação no que diz respeito ao ar do ambiente e desse modo não foram considerados.

Os itens que fazem parte do domínio de estudo são o leito onde o paciente se encontrará internado, a porta, o ar-condicionado e o Filtro Portátil. Para refrigeração do local, instalou-se um sistema de ar-condicionado do tipo Split de doze mil BTUs da marca *Midea*. A sala também possui um conjunto de quatro janelas, entretanto as mesmas encontram-se sempre vedadas e fechadas a todo momento, sendo assim, não incluídas no modelo.

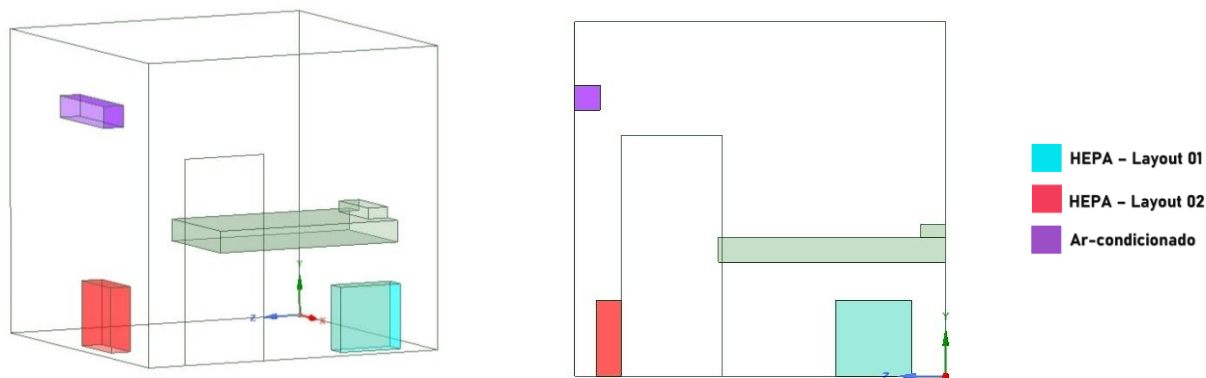


Figura 3. Geometria Computacional do Leito de Isolamento da Unidade de Terapia Intensiva

A malha não-estruturada com 455.898 elementos tetraédricos e 81.576 nós está ilustrada na Fig. 4 que já representa a configuração final para a localização do filtro portátil. Foram rodados alguns casos com o objetivo de encontrar a melhor localização para o filtro, desse modo, a medida que mudávamos a localização do filtro, mudávamos a malha computacional.



Figura 4. Malha Computacional do Leito de Isolamento da Unidade de Terapia Intensiva

As condições matemáticas adotadas são referentes a um estudo Euleriano-Euleriano com abordagem homogênea. As condições gerais do escoamento monofásico foram: escoamento isotérmico, estacionário, tridimensional, sem transferência de massa, incompressível, propriedades termo físicas constantes e presença de força de corpo. Para modelar o escoamento monofásico, utilizou-se das seguintes equações (ANSYS, 2020):

- Equação da Continuidade

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot \rho \vec{v} = 0 \quad (1)$$

- Equação da Quantidade de Movimento

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot [\rho \otimes \vec{v}] - \nabla p + \nabla \cdot \left\{ \mu \left[\nabla \vec{v} + (\nabla \vec{v})^T \right] \right\} = S_M + M \quad (2)$$

onde assume-se que ρ é a densidade, \vec{v} é o vetor velocidade, μ é a viscosidade dinâmica, ∇p é o gradiente da pressão, o termo S_M descreve as forças de momento devido às forças de corpo externas (força gravitacional) enquanto M descreve as forças interfaciais (força de arraste, força *lift*, força de massa virtual, força de lubrificação na parede e força de dispersão. Como escoamento do ar ocorre em regime turbulento foi escolhido o modelo k- ϵ para calcular estes efeitos, sendo assim, obteve-se:

$$\epsilon = \frac{C_\mu q^3}{l} \quad (3)$$

$$K = \frac{q}{2} \quad (4)$$

onde l é o comprimento de escala espacial, q é a velocidade escalar, C_μ é uma constante empírica calculada por

$$C_\mu = 4\mu^2 \quad (5)$$

Foram adotados como condição de contorno, as condições de segunda espécie, ou ainda, condições de Neumann. A sala da UTI representa todo o domínio Ω , entradas e saídas foram definidas conforme sua influência para com o domínio. No dia-a-dia a porta permanece sempre fechada, sendo aberta somente quando necessário realizar alguma intervenção no paciente. Nesta situação específica, a porta se torna uma possível região de entrada de massa no domínio, e por assim pensar, as propriedades associadas a esta região foram consideradas como propriedades de entrada. Deste modo, obteve-se:

$$v_p = 1 \times 10^{-9} \text{ m/s} \quad (6)$$

onde v_p é a velocidade do ar na porta. Ao considerarmos um valor expressivamente baixo para a velocidade do ar na porta indicamos uma velocidade praticamente nula, o objetivo dessa consideração é, inicialmente, não gerar nenhuma influência no sentido do fluxo do ar, mas considerar a porta como uma possível região de troca (entrada/saída), e assim capturar os efeitos do momento em que a mesma está aberta. A área da entrada da porta é de 9,6 m² com esse valor é possível calcular o fluxo de ar na localidade.

No que se refere ao ar condicionado, foi considerado apenas a inserção de ar refrigerado no sistema, desse modo, no domínio computacional o mesmo assume-se como entrada. O equipamento foi configurado para sua capacidade máxima de resfriamento, e após certo tempo de funcionamento com o auxílio do anemômetro digital Minipa MDA-10A verificou-se qual a vazão de ar que o mesmo liberava para o ambiente. Desse modo foi encontrado:

$$q_{ar} = 0,081 \text{ m}^3/\text{s} \quad (7)$$

No que se refere as condições de contorno do filtro HEPA portátil, as aberturas laterais foram consideradas como saídas de ar, pois condicionam/retiram o ar da sala para o interior do equipamento, e o redireciona para a abertura superior. E a abertura superior foi considerada como uma entrada de ar, já que insere o ar no interior do domínio Ω que é a sala de isolamento. As vazões encontradas para as duas saídas laterais e para a entrada superior foram:

$$\begin{cases} q_{H_{in}} = 0,09 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_{H_{out1}} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_{H_{out2}} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s} \end{cases} \quad (8)$$

Em linhas gerais toda região que insere ar na região do domínio foi considerada como entrada, e conseqüentemente, as que retiram, como saída. A pressão atmosférica da sala foi considerada de 1 atm e as influências relacionadas a temperatura não foram consideradas devido ao sistema ser assumido como isotérmico.

Para encontrar as soluções do problema, as equações diferenciais de transporte aplicadas ao escoamento dos fluidos, foram discretizadas formando um sistema linear de equações. Para uma dada propriedade conservada em um volume de controle, têm-se uma equação de transporte válida, para qualquer ponto infinitesimal dentro deste volume.

O método dos volumes finitos foi utilizado para encontrar e solucionar as integrais de área e de superfície, utilizando das proposições do teorema de Gauss, para então, chegar as soluções aproximadas. O critério de convergência adotado foi 10⁻⁷.

2.3 Contagem de Partículas

Após realizadas as simulações computacionais, e escolhido o layout mais adequado para localização do Filtro HEPA portátil, foi realizada a contagem das partículas dispersas na sala. O procedimento seguiu como base as orientações fornecidas pelas ABNT NBR ISO 14644-2:2006 e utilizou o contador de partículas LASAIR II 310 A59457 devidamente certificado e calibrado. O layout da medição com os três pontos onde o equipamento contou as partículas encontra-se na Fig. 5.

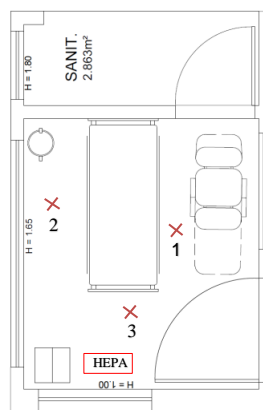


Figura 5. Layout dos Pontos de Contagem de Partículas da UTI

A ISO 14644-1 define sala limpa como a região construída e utilizada de maneira a minimizar a introdução, geração e retenção de partículas dentro de determinado ambiente, na qual, outros parâmetros relevantes como, por exemplo, temperatura, umidade e pressão, são controlados conforme necessário.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros resultados obtidos foram em termos de validação. Após o modelo ser validado, foram realizadas simulações com o objetivo de observar a influência da presença do filtro HEPA portátil na UTI, qual seria a melhor localização para fixá-lo, e sua relação com os demais componentes do sistema. Vencida esta etapa foi realizada a contagem das partículas em três diferentes pontos da sala.

3.1 Escoamento em Cavidade Quadrada com Tampa Móvel – Validação da Simulação

Por realizarmos análises de fluidodinâmica computacional foi necessário confrontar nosso modelo com *benchmarks* dispostos na literatura. O problema clássico utilizado para validar códigos de CFD, foi o trabalho publicado por Ghia *et al* (1982) onde o escoamento dentro de uma cavidade fechada é movido pelo cisalhamento provocado pelo movimento da tampa.

Apesar de antiga, esta é a referência mais utilizada para validar este tipo de problema, os resultados de Ghia *et al*. (1982) mostram a formação de um vórtice principal e dois vórtices secundários nos cantos inferiores, que crescem conforme o número de Reynolds aumenta, demonstrando uma tendência do escoamento a desordem, comportamento comum ao escoamento turbulento.

A malha utilizada nessa simulação é de 129x129, mesma malha utilizada no experimento numérico de referência. O domínio discretizado tinha 1x1m, tinha sua parte inferior e laterais consideradas como fixas enquanto a região superior, responsável por causar a perturbação no meio, considerada móvel. A Fig. 6 contém a ilustração do esquema simulado.

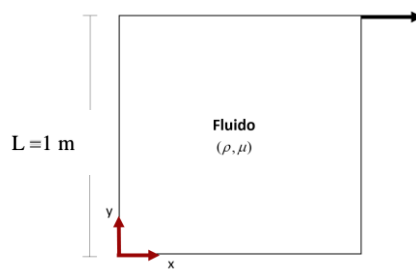


Figura 6. Esquema do Clássico Problema da Cavidade Quadrada com Tampa Móvel

Os resultados de GHIA *et al*. (1982) mostram a formação de um vórtice principal e dois vórtices secundários nos cantos inferiores, que crescem conforme o Reynolds aumenta. O fluido considerado no esquema tinha massa específica de 1.225 kg/m^3 e viscosidade de $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m-s}$. A Fig. 7 possui uma comparação entre as linhas de corrente encontradas por Ghia *et al* (1982) em preto e branco e as deste trabalho em escala de cores.

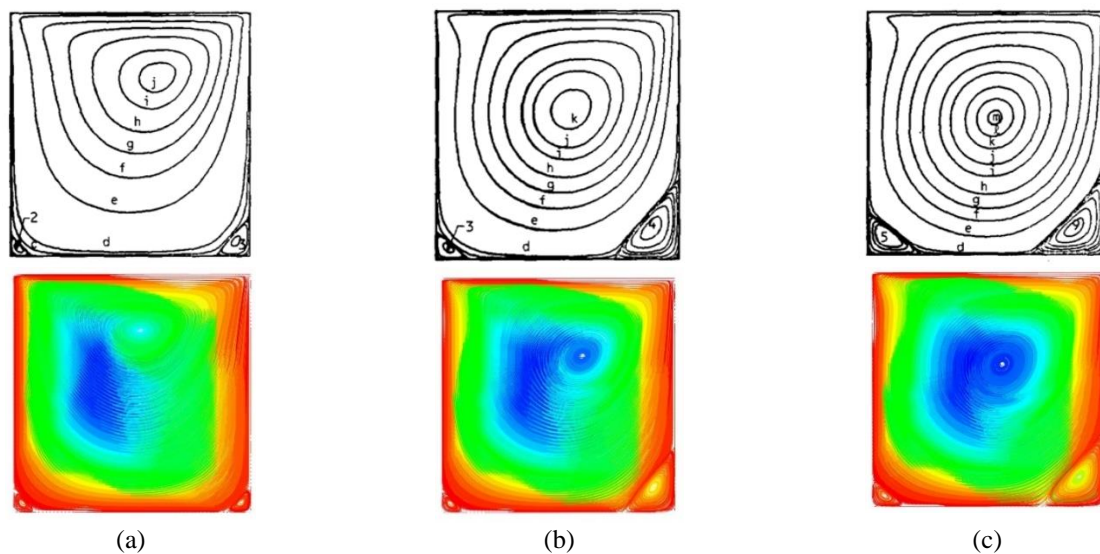


Figura 7. Linhas de Corrente: a) $Re = 100$; b) $Re = 400$; c) $Re = 1000$

A Fig. 7 mostra que as características principais do escoamento são bem representadas para todos os números de Reynolds simulados. Essas características são descritas com detalhes em GHIA et al. (1982), como aposição do vórtice principal e as dimensões e posições dos vórtices secundários.

3.2 Localização do Filtro HEPA Portátil

3.2.1 Casos 1 e 2

A unidade de terapia intensiva, apesar de ser um ambiente rigidamente controlado, possui um fluxo intenso de entrada e saída de médicos, enfermeiros, técnicos, acompanhantes, etc. Estes agentes podem ser vetores para contaminantes externos, levando para a UTI material particulado que tem grande influência na qualidade do ar do ambiente. Estes poluentes são constituídos de uma mistura física e química de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido ou líquido (gotículas, aerossol, bioarossóis, névoas, fumaça etc.) que se encontra suspenso na atmosfera. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros (SÃO PAULO, 2007).

O objetivo inicial com a simulação dos casos era garantir que nenhum particulado se aproximasse do paciente, sendo, portanto, redirecionado para o filtro. Em um primeiro cenário (layout 1), o filtro HEPA foi colocado próximo ao paciente, como pode ser visto na Fig. 8 - layout 1). Neste layout, além do filtro ser visto como uma possível barreira, a presença

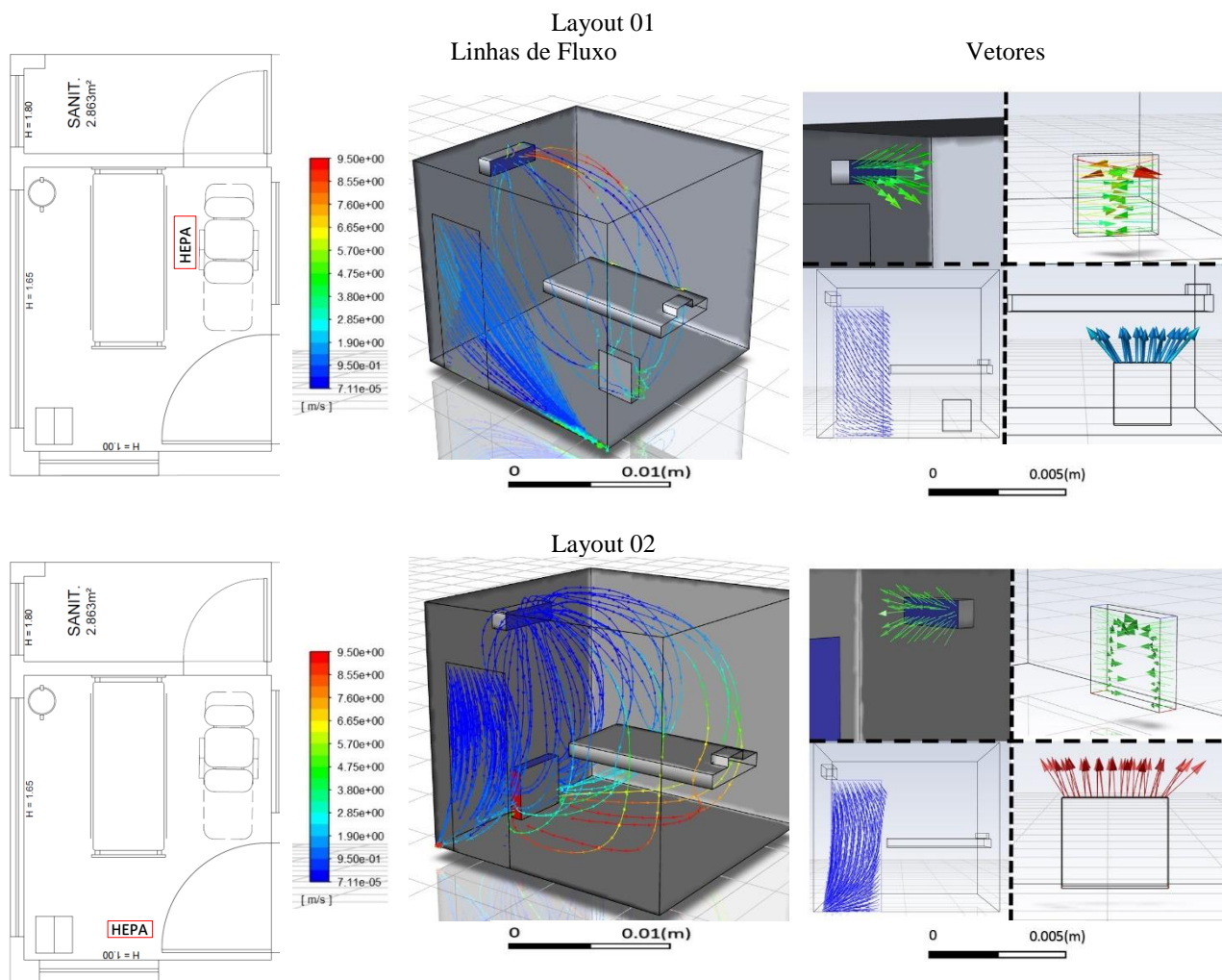


Figura 8. Planta com localização do equipamento, Linhas de Corrente e Campo vetorial das Saídas e Entradas de Ar para Layout 01 e Layout 02

mesmo nas proximidades do paciente acaba por garantir ar limpo nas imediações do leito.

O layout 1 apesar de parecer o mais indicado por liberar ar limpo mais próximo ao paciente, também pode se tornar um risco. A medida que as partículas da sala se direcionam para a região do equipamento, as mesmas também se aproximam do paciente e, apesar da tendência de escoar em direção ao filtro, elas podem ser desviadas. Outra questão que tornou o layout 1 inaplicável, foi a questão da dificuldade de acesso ao paciente, que com a presença do filtro, a lateral esquerda do leito ficaria inacessível. O lado direito do leito apesar de aparentar estar livre, não está. Esta região está reservada para posicionamento dos equipamentos médicos que serão utilizados no paciente, e não foram representados pois são objetos genéricos que variam com base no paciente no seu quadro clínico.

Ao mudarmos o equipamento de local deixando a sala com o layout 2 percebe-se que o mesmo continua tendo influência no fluxo do ar da sala. As linhas de corrente caminham de modo a encontrar as duas entradas laterais do filtro. O campo vetorial associado a porta, mesmo sendo formado por vetores de modulo praticamente nulo, ainda assim, acabam tendo sentido e direção para o filtro HEPA.

A possibilidade de mobilidade do filtro permitiu a análise de outros layouts, entretanto, as duas análises aqui apresentadas se mostraram mais interessantes para discussões. E, ao fim, o layout 2 foi o considerado o layout ideal para instalação do equipamento.

3.2.2 Caso 3

Em um terceiro momento considerou-se que o equipamento estaria desligado. A sua localização é a mesma ilustrada no layout 2. Neste contexto, o filtro HEPA, está sendo considerado como apenas um objeto que compõe o espaço físico do quarto de UTI, sem influenciar na fluidodinâmica do local. A Fig. 9 apresenta a comparação do campo de velocidades da sala, visto em um plano no eixo yz.

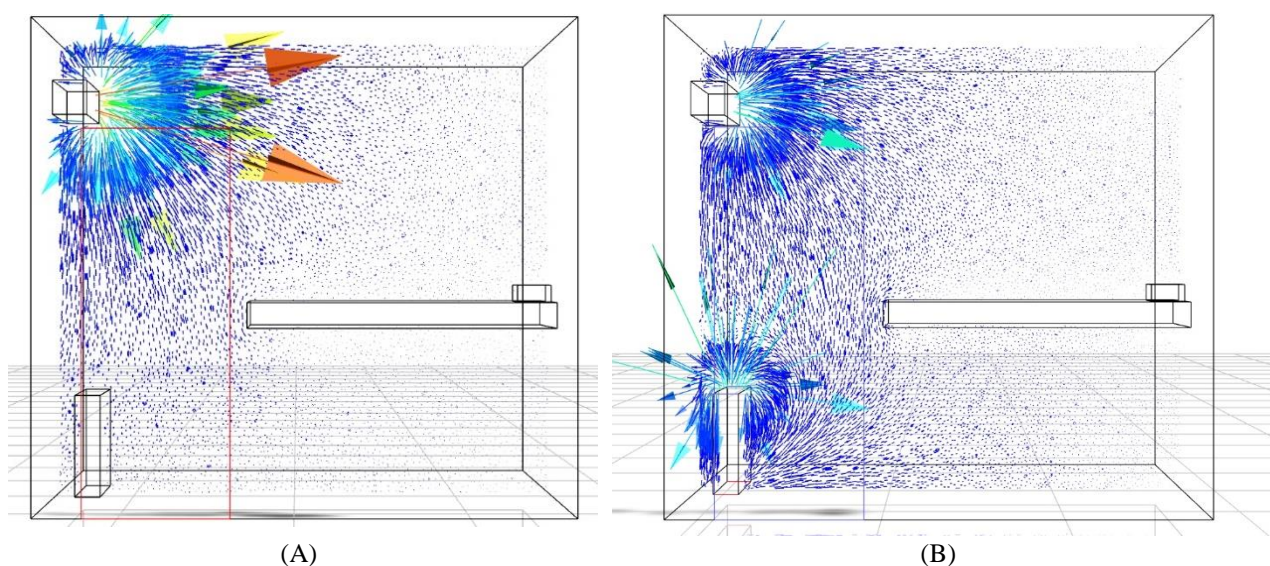


Figura 9. Comparação do campo de velocidade da sala no plano yz com o filtro HEPA ligado (A) e desligado (B)

Na simulação que considera o equipamento desligado Fig. 9 (A), é facilmente perceptível que a grande concentração dos vetores se dá entorno do ar-condicionado, e à medida que se afastam, tendem a ter uma redução no seu módulo, mas a direção e sentido não sofrem alterações após a saída do ar-condicionado.

Em contrapartida, ao analisar a Fig. 9 (B) é possível reparar que os vetores se encaminham na direção do filtro HEPA. Existe uma concentração de vetores ao seu redor do filtro, mostrando que nesta região tanto a exaustão ocorrida nas laterais quanto o insuflamento na parte superior causam variações no cenário, indicando assim que as partículas em suspensão no ar estão caminhando para serem filtradas.

3.3 Contagem das partículas

Por meio da utilização de um contador de partículas, foi possível analisar a concentração média das partículas suspensas no ar da sala. Somente por meio dessa caracterização é possível ter ciência do range do tamanho dos bioaerossóis e microbiotas que estariam sendo filtrados.

O importante a se destacar nesta análise é que, quando o filtro HEPA não estava em operação, o contador de partículas não encontrou nenhum range aceitável de partículas que caracterizasse o ambiente como zona limpa. Passados 15 minutos do acionamento do equipamento, o contador de partículas informou aprovado para o ambiente em análise. Com base nos parâmetros dispostos na ABNT 14644-1, foi possível classificar o ambiente como ISO CLASSE 8.

A primeira medição realizada pelo contador de partículas sempre é descartada por questões técnicas de erros e desvios de medição. A partir da segunda amostragem que se considera a validade do experimento. Esta segunda medição apresentou uma concentração média de partículas com tamanho maior ou igual a 10μ superior ao que se exige na norma. O valor encontrado foi 410.558 partículas/ m^3 , enquanto o tolerado para ISO classe 9 é de 239.00 partículas/ m^3 , sendo esta a última classificação possível para sala limpa.

Após o acionamento do dispositivo filtrante, em sua velocidade máxima de operação, percebeu-se que os valores médios das concentrações estavam reduzindo nos pontos de coleta. A Fig. 9 apresenta a média aritmética do quantitativo de partículas de $1, 5$ e 10μ de diâmetro, nos três diferentes pontos de medição, cada medição considerando o espaço físico de $1m^3$ durante um minuto.

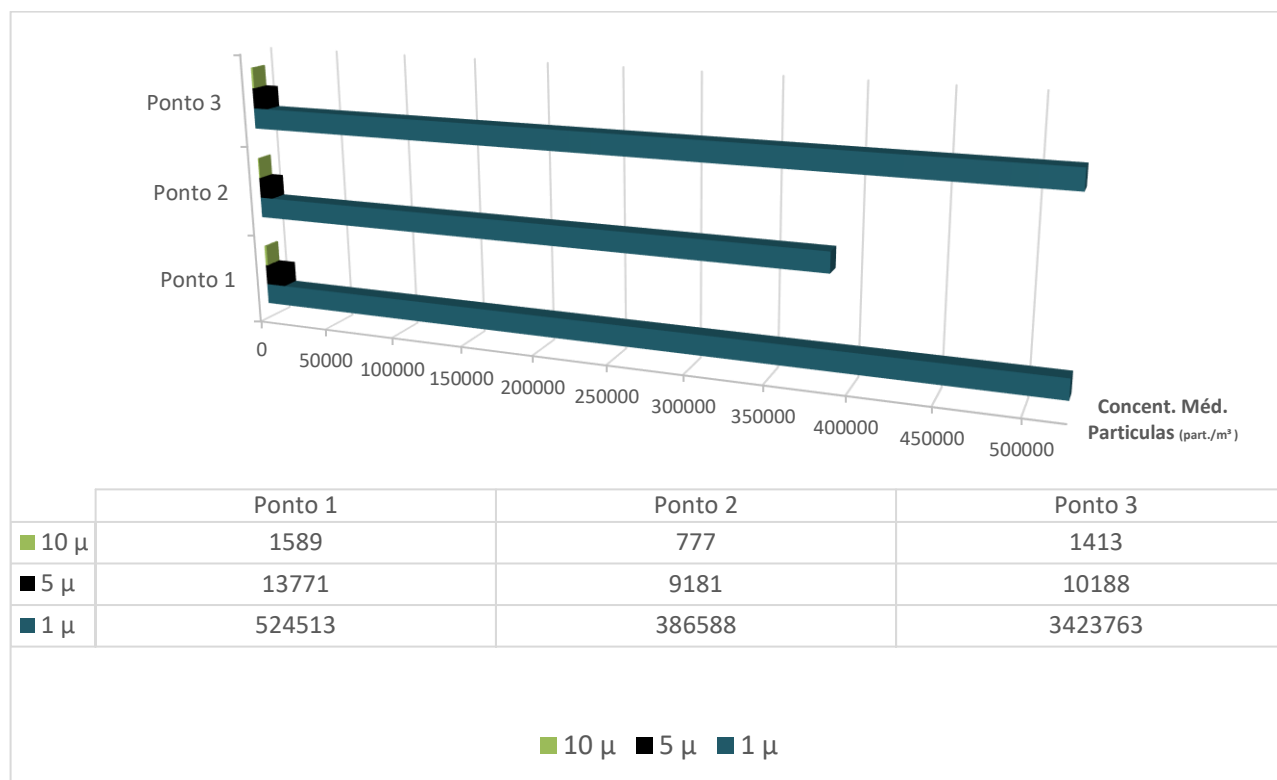


Figura 9. Concentração média da contagem de partículas nos três pontos de amostragem

O princípio do funcionamento do Filtro HEPA não garante uma renovação de ar no sentido de garantir que o ar externo ao ambiente seja inserido na sala. Esta questão evidencia uma limitação do aparelho. Deste modo, recomenda-se uma criteriosa atenção a este fato, para evitar por exemplo, situações como alto índice de CO₂.

4 CONCLUSÃO

Com base em todos os pontos apresentados e discutidos, concluímos que o Purificador de ar *GreenAir* possui influência direta na fluidodinâmica da sala, contendo as especificações técnicas necessárias para promover uma melhoria na qualidade do ar da UTI. Sendo, portanto, mais uma ferramenta que agregará cuidados ao paciente que estiver internado neste ambiente.

5 REFERÊNCIAS

- ABRAMCZYK, M. L., RICHMANN, Rosana. Uso racional de antimicrobianos. In: BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Pediatria: Prevenção e controle de infecção hospitalar*. Brasília: Editor Anvisa. 116p. ISBN-85-334-1049-2
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14644-1. 2005. Salas limpas e ambientes controlados associados- Parte 1: Classificação da limpeza do ar. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7256. 2005. Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) – Requisitos para projeto e execução das instalações. Informação e documentação: Referências. Rio de Janeiro, p. 24.
- GHIA, U., GHIA, K. N., SHIN, C. T., 1982, "High-Re Solutions for Incompressible Flow Using the Navier-Stokes Equations and a Multigrid Method", *Journal of Computational Physics*, v. 48, pp. 387-411
- GRIGOREVSKI-LIMA, A. L., SILVA-FILHO, R.G., LINHARES, L.F., COELHO, R.R.R. 2006. Occurrence of actinomycetes in indoor air in Rio de Janeiro, Brazil. *Building and Environment*, v. 41, p. 1540-1543, ISSN 0360-1323
- HAINES, R. W., WILSON, C. Lewis. 1998. *HVAC Systems Design Handbook*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 528 p. ISBN: 0070259631.
- <http://www.engenhariaarquitectura.com.br/2019/03/nbr-7256-e-as-exigencias-em-relacao-aos-equipamentos-nas-instalacoes-hospitalares>.
- LEE, H., AWBI, H.B. 2004. *Effect of internal partitioning on indoor air quality of rooms with mixing ventilation: basic study*. *Building and Environment*. v. 39, n. 2, p. 27-41.

- LIMA DE PAULA, J. F. 2003. *Aeromicrobiota do ambiente cirúrgico: princípios e peculiaridades da climatização artificial*. 2003. 128 f. Dissertação (Mestrado em enfermagem fundamental) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto.
- LIMA DE PAULA, J. F. 2003. *Aeromicrobiota do ambiente cirúrgico: princípios e peculiaridades da climatização artificial*. Dissertação (Mestrado em enfermagem fundamental) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- Qian, H., Li, Y., Sun, H. et al. Particle removal efficiency of the portable HEPA air cleaner in a simulated hospital ward. Published at Springer. Simul. 3, 215–224 (2010). <https://doi.org/10.1007/s12273-010-0005-4>
- QUADROS, M. E. 2008. *Qualidade do Ar em Ambientes Internos Hospitalares: Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos*. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- REIN, E. 2019. *NBR 7256 e as exigências em relação aos equipamentos nas instalações hospitalares*. E/A Engenharia e Arquitetura.
- TURIEL, I. 1983. *The effects of reduced ventilation on indoor air quality in an office building*. Atmospheric Environment, v. 17, n. 1, p. 51-64.
- U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Atlanta, GA 30329. 2019. U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Atlanta, GA 30329

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF A PORTABLE HEPA FILTER ON THE AIR QUALITY OF AN INTENSIVE CARE UNIT THROUGH CFD AND PARTICLE COUNTING

Abstract. *Intensive care units have changed the way of treating patients with serious illnesses, especially in settings with a high risk of death. Over the years, new equipment and techniques have been developed, making intensive care medicine an extremely special area. The NBR 7256 and 14644-1 are some examples of standards that dictate and recommend parameters that aim to guarantee quality and error-free assistance. In this sense, this study seeks to analyze the air quality of the isolation room of an Intensive Care Unit by inserting a portable HEPA filter, to then certify it in one of the ISO of clean rooms located in NBR 14644- 1, and ensure that the environment has the necessary conditions to receive patients with the most varied degrees of complexity, considering an analysis of parameters related to air quality. The development study shows itself important in the perception of the influence and proof of the equipment's effectiveness, considering it important to understand the behavior of quantitative variables. Through computer simulation, it is possible to understand the behavior of physical variables, such as the airflow pattern in the room, analyzing flow lines and speed profiles, so that we can arrive at a technical opinion on the behavior of air in environments. Finally, we conclude that through the analyzes performed, it is possible to dimension, based on the verification standards, the best way to insert the portable HEPA filter in the isolation room of the intensive care unit.*

Keywords: *Air quality; Clean Rooms; Computational Fluid Dynamics; Particle Count*