

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos 2

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0411-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.118221208>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O e-book intitulado: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos 2” é constituído por oito capítulos de livros que se distribuíram em três eixos-temáticos: *i)* produção e desenvolvimento de produtos de maior eficiência e de menor custo; *ii)* utilização de biomassa e controle de variável em diferentes processos industriais e; *iii)* geração de energia e estimativa de custo para recuperar espécies em recursos hídricos.

O primeiro capítulo investigou a relação de um conjunto de filtros, utilizados em ambientes fechados, em relação à eficiência e o consumo energético resultando em um sistema que requeria um consumo de 8 W e uma eficiência de retenção de partículas abaixo do recomendado pela OMS. O capítulo 2 avaliou o desenvolvimento de produção de nanofibras via *electrospinning* a partir da análise de números adimensionais com múltiplas variáveis, os resultados sugerem estudos promissores que definiram a operação de produção de fibras pela via *electrospinning*.

Os capítulos de 3 a 5 avaliaram: *i)* a importância do controle de temperatura no processo de esterilização de alimentos a partir de um modelamento matemático por meio de simulação computacional; *ii)* influência da temperatura na produção de ácido cítrico utilizando fungos da espécie *Aspergillus Awamori e*; *iii)* extração de xilose e glicose a partir do eucalipto (*Eucalyptus sp.*) a partir do pré-tratamento utilizando o ácido peracético e hidróxido de sódio.

Por fim, os capítulos de 6 a 8 apresentaram trabalhos que avaliaram: *i)* utilização da energia térmica a partir de resíduos de *Chillers*, gerados em unidades hospitalares; *ii)* análise de custo para recuperar microalgas a partir de processos de microfiltração e; *iii)* remoção de arsênio (III) em matrizes aquosa empregando carbono pirolisado como adsorvente.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PROJETO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR UTILIZANDO MEIOS FILTRANTES DE NANOFIBRAS

Alessandro Estarque de Oliveira

Mônica Lopes Aguiar

Vádila Giovana Guerra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212081>

CAPÍTULO 2..... 17

OBTENÇÃO DE ADIMENSIONAIS PARA O ESTUDO DE *ELECTROSPINNING*

Alessandro Estarque de Oliveira

Mônica Lopes Aguiar

Vádila Giovana Guerra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212082>

CAPÍTULO 3..... 33

CONTROLE INFERENCIAL PARA ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS

Danúbia Lucas Meira Gontijo

Rafael Yuri Medeiros Barbosa

Rubens Gedraite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212083>

CAPÍTULO 4..... 47

PRODUÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO POR *ASPERGILLUS AWAMORI* E INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA EM SISTEMA DESCONTÍNUO

Emanuel Souza Barros

José Eduardo Olivo

Deivid Jonathan Souza Barros

Edvan Vinicius Gonçalves

Carlos Hiroaki Missaki Kuwabara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212084>

CAPÍTULO 5..... 53

EXTRAÇÃO DE XILOSE E GLICOSE DE *EUCLYPTUS* sp. PRÉ- TRATADOS COM ÁCIDO PERACÉTICO E HIDRÓXIDO DE SÓDIO

Eduardo de Souza Costa Antunes

Ezequiel Marcelino da Silva

Raquel Marchesan

Adriane Maria Ferreira Milagres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212085>

CAPÍTULO 6..... 69

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO CALOR RESIDUAL DOS CHILLERS

PARA PROCESSOS DE AQUECIMENTO EM HOSPITAIS

Breno Wasserstein
Carlos Eduardo Bonazzola Ribeiro
Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212086>

CAPÍTULO 7..... 86

ESTIMATIVA DO CUSTO DE CAPITAL DA MICROFILTRAÇÃO EM UM PROCESSO CONTÍNUO DE RECUPERAÇÃO DE MICROALGAS

Gilzza Garcia Borges
Rafael Bruno Vieira
Thamayne Valadares de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212087>

CAPÍTULO 8..... 99

REMOCIÓN DE ARSÉNICO (III) POR MEDIO DE CARBÓN DE PIROLISIS EN FASE ACUOSA

Octavio Trejo-Chavero
Lidia Soriano-Piña
Cecilia Mercado-Zúñiga
Juventino Barojas-Huerta
María Teresa Torres-Mancera
Raquel Eunice Hernández Ramírez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212088>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 104

ÍNDICE REMISSIVO..... 105

CAPÍTULO 1

PROJETO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR UTILIZANDO MEIOS FILTRANTES DE NANOFIBRAS

Data de aceite: 01/08/2022

Data de submissão: 24/05/2022

Alessandro Estarque de Oliveira

Programa de Pós-graduação em Engenharia
Química, Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP
<https://orcid.org/0000-0001-7900-2874>

Mônica Lopes Aguiar

Programa de Pós-graduação em Engenharia
Química, Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP
<https://orcid.org/0000-0003-4540-5776>

Vádila Giovana Guerra

Programa de Pós-graduação em Engenharia
Química, Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP
<https://orcid.org/0000-0002-0096-6329>

RESUMO: Uma das maiores preocupações sanitárias na atualidade é a contaminação por inalação de partículas ultrafinas. A solução para a mitigação deste risco encontra-se em parte nos sistemas de ventilação e condicionamento de ar (HVAC, de *Heating, Ventilating and Air Conditioning*). No presente trabalho, foi realizada uma análise dos parâmetros de projeto de um sistema HVAC composto por meios filtrantes de nanofibras de álcool polivinílico (PVA). Considerou-se uma sala contendo uma fonte de dispersão de gotículas de saliva com nanopartículas virais (SARS-COV-2). A sala também recebia partículas $MP_{2,5}$ (Material

Particulado com diâmetro inferior a $2,5 \mu m$) do ambiente externo. Além dos filtros principais, foi considerado um filtro auxiliar com base no conceito de *Minimum Efficiency Reporting Values* (MERV). Foi utilizada como variável chave de análise a energia necessária para a ventilação da sala através da potência de ventiladores. Assim, foi possível atribuir uma estimativa de qual conjunto de filtros seria mais econômico em termos energéticos, visto que meios filtrantes de nanofibras não apenas possuem alta eficiência de coleta, como também alta queda de pressão. Verificou-se que o sistema mais econômico atingiu uma concentração de partículas abaixo do limite recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) após 167 minutos de operação. Este sistema requeria uma potência de 8 W considerando-se apenas a queda de pressão dos meios filtrantes limpos. Utilizando a metodologia empregada, foi possível obter um sistema que aliou relativo baixo consumo energético com a obtenção da concentração de aerossol em ambientes internos recomendada pela OMS.

PALAVRAS-CHAVE: HVAC. Nanopartículas. Filtração de Ar. *Electrospinning*. Nanofibras.

DESIGN OF A VENTILATING AND AIR CONDITIONING SYSTEM USING NANOFIBROUS FILTER MEDIA

ABSTRACT: One of the biggest health concerns at present is the contamination with ultrafine particles through inhalation. The solution for the mitigation of this hazard is partially found in HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) systems. In this work, design parameters of an HVAC system composed of filter media made of

polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers were analyzed. It was considered a room with a source of saliva droplets containing viral nanoparticles (SARS-COV-2). The room also received outdoor PM_{2.5} (Particulate Matter with diameter less than 2,5 μm). Besides the main filters, an auxiliary filter was considered based on the concept of *Minimum Efficiency Reporting Values* (MERV). It was used as the key variable for the analysis the energy required for the ventilation of the room through the power consumption of fans. Therefore, it was possible to estimate which set of filters was the most cost-effective considering energy saving, since nanofibrous filter media present not only high collection efficiency, but also high pressure drop. It was verified that the most cost-effective system provided the particle concentration standard recommended by the World Health Organization (WHO) after 167 minutes of operation. This system would require 8 W of power consumption considering only the pressure drop of the clean filter media. Using the presented methodology, it was possible to obtain a system that combined relatively low energy consumption with the obtention of an indoor particle concentration recommended by WHO.

KEYWORDS: HVAC. Nanoparticles. Air Filtration. *Electrospinning*. Nanofibers.

1 | INTRODUÇÃO

Uma das aplicações imediatas dos meios filtrantes para filtração de ar é o emprego em sistema HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), que consiste em um conjunto de dutos para ventilação. Geralmente, tal sistema está relacionado ao conceito de Salas Limpas, no qual diferentes categorias de salas determinam a concentração máxima de particulado de determinado diâmetro no interior do ambiente, conforme ISO 146441-1 (TAN, 2014). Neste tipo de sistema, a coleta de particulado pode ser realizada por meios filtrantes ou precipitadores eletrostáticos, pois ambos possuem alta eficiência para partículas de pequeno tamanho (PARK *et al.*, 2011; KIM *et al.*, 2013). No entanto, filtros HEPA (*High Efficiency Particulate Arrestance*) são preferíveis, pois precipitadores podem produzir gás ozônio e conseqüentemente compostos orgânicos voláteis (VOCs – *Volatile Organic Compounds*), como terpenos e aldeídos. (WARING *et al.*, 2008).

O projeto de sistemas HVAC tem sido realizado para o controle da emissão de partículas virais em ambientes fechados, como no trabalho de Azimi e Stephens (2013), no qual se considerou um escritório fictício com dispersão de vírus *Influenza*. Mais recentemente no trabalho de Zhang *et al.* (2021), foi considerado um ônibus com dispersão de vírus SARS-COV-2. Este último vírus, bastante investigado após o início da pandemia de COVID (*COrona Vlrus Disease*) iniciada em 2019 (WHO, 2020), possui formato esférico e algum polimorfismo, com diâmetros variando entre 60 a 140 nm e apresentando *spikes* com 9 a 12 nm de tamanho em toda a sua superfície externa (ZHU *et al.*, 2019; SCHELLER *et al.*, 2020).

No geral, partículas patogênicas são consideradas como particulados poluentes de ar, visto que se suspendem em ar facilmente: vírus possuem tamanhos entre 20 e 400 nm, bactérias, entre 200 nm e 2,0 μm , enquanto esporos de fungos possuem entre 2,0

e $8,0 \mu\text{m}$ (JOHNSON *et al.*, 2009; SUNG *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2018). Uma forma comum de dispersão destes agentes é através da emissão de gotículas a partir de um indivíduo contaminado, ao tossir, espirrar ou falar, emitindo gotículas entre 12 e $21 \mu\text{m}$ contendo enzimas, eletrólitos e material genético destes agentes (STADNYTSKYI *et al.*, 2020). No entanto, a dinâmica de aerossóis é complexa, visto que há possibilidade de partículas virais dispersas coalescerem até tamanhos maiores que $2,5 \mu\text{m}$ (SETTI *et al.*, 2020). Adicionalmente, é possível que gotículas de saliva como as que contêm SARS-COV-2 reduzam seu tamanho após dispersas em ar devido à evaporação da água, o que é dependente da temperatura e umidade ambiente (ROHIT *et al.*, 2020).

Portanto, o presente estudo consistiu no projeto de sistema HVAC para a retenção de $\text{MP}_{2,5}$ em uma sala contendo uma fonte de dispersão de gotículas de saliva com partículas virais (SARS-COV-2) e considerando-se um filtro auxiliar com base no conceito de *Minimum Efficiency Reporting Values* (MERV) (ASHRAE, 2007; STEPHENS; SIEGEL; 2012). Foi utilizada como variável final de análise a energia necessária para a ventilação do sistema através da potência de ventiladores. Assim, foi possível estimar qual conjunto de filtros seria mais econômico em termos energéticos, uma vez que a presença de um meio filtrante de nanofibras não apenas aumenta a eficiência de coleta, como também a queda de pressão da operação. Foi fixada a concentração de saída de $\text{MP}_{2,5}$ da sala como a concentração limite média diária estipulada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), igual a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para ambientes internos (*indoor*) (2021). Este valor limite foi recentemente atualizado, o que implica na exigência de sistemas de purificação de ar mais eficientes. Isto ressalta a importância do presente trabalho no que tange a demonstrar a aplicabilidade de sistemas de filtração de ar de alta eficiência.

2 | METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta uma ilustração do balanço de massa para um sistema HVAC (*Box model*), contendo um reciclo e matematicamente expresso por (TAN, 2014):

$$V \times \frac{dC_i}{dt} = [Q_o \times C_o \times (1 - E_{f_o}) + Q_r \times C_i \times (1 - E_{f_r}) + m] - (Q_o \times C_i + Q_i \times C_i \times E_{f_i}) \quad (1)$$

em que V é o volume interno útil da sala de dimensões X , Y e Z . O parâmetro Q_o é a vazão volumétrica de ar, cujo fluxo é representado pela seta com preenchimento em preto da Figura 1 (setas com preenchimentos com diferentes gradações de cinza são ilustrativas da redução da concentração de aerossol). Esta corrente de ar contém particulado com concentração C_o , que atravessa um filtro externo (*make up*) com eficiência de filtração E_{f_o} . A variável Q_r se refere à parte da vazão de saída Q_e reciclada e que atravessa um filtro de reciclo de eficiência E_{f_r} , antes de retornar ao duto de ventilação (não explicitado na Figura 1 para simplificar o esquema). A variável m corresponde à taxa de geração de particulado gerada no interior da sala, aqui a taxa de geração de gotículas contendo carga

viral. O parâmetro C_i se refere à concentração de particulado interna da sala (e de saída considerando o ar perfeitamente misturado), resultado da concentração de partículas antes do início da operação de ventilação e das vazões de particulado de entrada e de reciclo, sendo, portanto, dependente do tempo de operação t . Por fim, E_f se refere à eficiência do meio filtrante no interior da sala, representado sob a forma de linhas tracejadas na Figura 1, do mesmo modo como as correntes de entrada e saída de ar desse filtro.

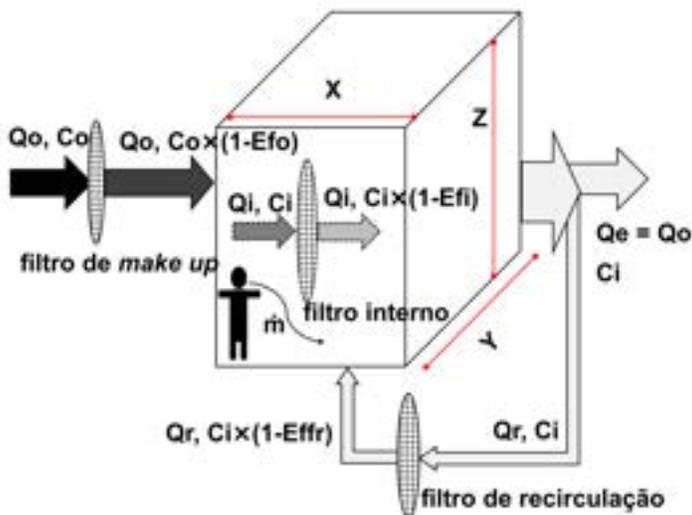


Figura 1. Ilustração de um sistema HVAC em uma sala

Fonte: Acervo pessoal

A solução do equacionamento resulta em:

$$C_i = (C_{i0} - C_{i\infty}) \times \exp(-t/\tau) + C_{i\infty} \quad (2)$$

$$C_{i\infty} = (Q_o \times C_o \times (1 - E_{fo}) + \dot{m}) / (Q_o - Q_r \times (1 - E_{fr}) + Q_i \times E_{fi}) \quad (3)$$

$$\tau = V / (Q_o - Q_r \times (1 - E_{fr}) + Q_i \times E_{fi}) \quad (4)$$

sendo C_{i0} a concentração inicial de particulado no interior da sala, $C_{i\infty}$ a concentração de partículas no interior da sala quando o sistema atinge o estado estacionário e τ , uma “constante de tempo”, ou seja, um valor característico do sistema com unidade de tempo e que permite caracterizar a concentração transiente no espaço (TAN, 2014).

Para a execução do projeto, considerou-se uma sala contendo apenas um indivíduo, contaminado com SARS-COV-2 emitindo gotículas de saliva a uma taxa de 50 gotas por segundo, com mediana de $\sim 0,8 \mu\text{m}$ de diâmetro e desvio padrão geométrico dependendo da amplitude da vocalização (ASADI *et al.*, 2019). A carga viral de SARS-COV-2 na saliva de uma pessoa infectada na primeira semana após o aparecimento dos primeiros sintomas

varia entre 10^4 a 10^8 partículas/mL (ZHU *et al.*, 2020). Considerando a concentração máxima de vírus e a densidade da saliva igual a 1000 kg/m^3 , foi calculada a taxa de emissão de vírus no interior das gotículas para cada tamanho de gota. Sendo a faixa de tamanho de partícula de SARS-COV-2 de 60 a 140 nm, foi estipulada uma distribuição com mediana igual a 100 nm e desvio padrão geométrico de 1,1. Tomando-se a densidade do vírus como igual a 1190 kg/m^3 (HUANG *et al.*, 2006), foi estimada a taxa mássica de geração de vírus no interior da sala. Assim, m foi obtida a partir da soma das taxas de geração de gotas e de vírus a partir de um único indivíduo ocupante da sala, contaminado com o vírus e vocalizando a uma taxa máxima de emissão de gotículas, as quais continham carga viral máxima.

O valor de Q_0 necessário para ventilar a sala foi calculado com base na especificação da ASHRAE 62.1 (2010), igual a $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ por pessoa + $1,1 \text{ m}^3/\text{h}$ por área de piso, que foi estipulada como igual a 25 m^2 . Assim, X e Y eram iguais a 5 m e Z , igual a 3 m. A área de filtração para cada filtro foi estipulada como igual $0,6 \times 0,6 \text{ (m}^2\text{)}$, conforme realizado por Azimi e Stephens (2013).

A Tabela 1 apresenta valores de classificação de filtros de acordo com o conceito de *Minimum Efficiency Reporting Values* (MERV) (ASHRAE, 2007; STEPHENS; SIEGEL; 2012).

MERV	0,3-1 μm (%)	1-3 μm (%)	3-10 μm (%)	$\Delta P_{\text{média}}^c$ (Pa)
4 ^b	1	9	15	73
7 ^b	17	46	50	111
11 ^b	30	65	85	141
13 ^a	70	90	90	144
14 ^a	80	90	90	188
15 ^a	90	90	90	159
16 ^a	95	95	95	157
HEPA ^c	99,9	99,9	99,9	374

Tabela 1. Classificação de elementos filtrantes

Fonte: ^aASHRAE, 2007; ^bSTEPHENS; SIEGEL; 2012; ^cAZIMI, STEPHENS, 2013

Desconsiderando-se a presença de nanopartículas virais advindas do exterior, estipulou-se que o filtro *make up* seria constituído de um filtro genérico que atendesse às classificações mostradas na Tabela 1. A Tabela 1 também apresenta valores de queda de pressão média obtidos por Azimi e Stephens (2013) para meios filtrantes comerciais enquadrados nestas classificações. Este parâmetro foi utilizado para o cálculo da energia requerida para ventilação.

Salienta-se que a denominação “filtro HEPA” a ser utilizada nesta análise corresponde à denominação adotada no trabalho de Azimi e Stephens (2013). Na realidade, de acordo

com a EN 1822, meios filtrantes com esta eficiência são classificados como E12, enquanto a ISO 29463 os classifica como ISO 30E (EMW FILTERTECHNIK, 2022).

Os filtros interno e de reciclo, em contato com as gotículas e partículas virais, seriam compostos dos meios filtrantes de nanofibras. Foram utilizados resultados experimentais de caracterização morfológica e de performance de meios filtrantes de nanofibras produzidos por *electrospinning*, obtidos em trabalho prévio (OLIVEIRA *et al.*, 2021). No estudo, foram investigadas diferentes composições de soluções poliméricas de álcool polivinílico (PVA) alterando-se a concentração do surfactante Triton X-100, utilizado para se obter fibras nanométricas para filtração de nanopartículas.

É preciso ressaltar que, para efeitos de simplificação, o valor de queda de pressão tomado para os meios filtrantes de PVA foi o de queda de pressão inicial (de filtro limpo), visto não haver dados da performance desses meios filtrantes após longos períodos de filtração. O cálculo da energia requerida foi bastante simplificado, considerando a eficiência dos ventiladores e dos motores iguais a 1 (um) apenas para efeitos comparativos. A potência é expressa por (AZIMI; STEPHENS; 2013):

$$Pot = (Q_r + Q_f) \times \Delta P_0 + Q_o \times \Delta P_{media} \quad (5)$$

Para a análise do gasto energético (queda de pressão) correspondente aos meios filtrantes de nanofibras, como função do tempo de fiação e da concentração de surfactante utilizado na solução polimérica, foi utilizada a definição de gramatura (W):

$$W = \alpha \times L \times \rho_f \quad (6)$$

sendo α e L respectivamente a densidade de empacotamento (contraparte da porosidade) e a espessura do meio filtrante de nanofibras; ρ_f é a densidade do polímero.

Considerando-se a área de filtração utilizada nos testes experimentais, que possuía seção circular de diâmetro interno igual a 1 polegada (OLIVEIRA *et al.*, 2021), e considerando-se homogênea a deposição espacial das camadas de fibras por *electrospinning*, obteve-se a massa total de fibras depositada para aquela área útil de meio filtrante. Considerando-se uma relação linear entre a massa depositada e o tempo de fiação, obteve-se a taxa de deposição de nanofibras para cada composição de solução considerando-se o tempo de fiação experimental, igual a 15 min (OLIVEIRA *et al.*, 2021). A Tabela 2 exhibe os valores calculados.

Concentração de surfactante (% m/m)	Diâmetro de fibra (nm)	α (-)	L (μm) (15 min)	Massa (kg)	Taxa de deposição (kg/s)
0	234	0,047	11,6	3,59E-07	4,0E-10
0,25	229	0,047	12,8	3,96E-07	4,4E-10
0,50	186	0,043	11,7	3,31E-07	3,7E-10
0,75	191	0,052	10,0	3,43E-07	3,8E-10
1,00	180	0,054	9,38	3,34E-07	3,7E-10

Tabela 2. Caracterização dos elementos filtrantes de Oliveira *et al.* (2021) e taxas calculadas de deposição de fibras

A partir de tais taxas (Tabela 2), foi possível obter a espessura de meio filtrante como função do tempo de fiação para cada tipo de elemento filtrante produzido, bem como obter a queda de pressão a partir da equação de Davies (1973), considerando que a porosidade/densidade de empacotamento independe do tempo de fiação. Esta equação é dada por:

$$\frac{\Delta P \times (D/2)^2}{L \times \mu_g} = v \times 16\alpha^{1,5} \times (1 + 56\alpha^3) \quad (7)$$

na qual D é o diâmetro da fibra e v e μ_g são respectivamente a velocidade superficial e a viscosidade do ar.

Usando-se a velocidade de filtração utilizada nos experimentos, igual a 5,0 cm/s (OLIVEIRA *et al.*, 2021), Q_f foi obtida como igual a $0,05 \times 0,6 \times 0,6 = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}$. Tal velocidade foi utilizada uma vez que os dados de performance de filtração daquele trabalho (~95% de eficiência global para filtração de partículas nanométricas) foram obtidos nesta condição. Estipulou-se que $Q_f = Q_o / 3$, conforme realizado por Tan (2014). As concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ do ambiente externo (*outdoor*) (C_o) e interno anteriores ao início da ventilação (C_{i0}) foram tomadas como iguais a 155 e 118 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, relativas a um apartamento em perímetro urbano (DENG *et al.*, 2017). Foi então estipulada uma distribuição de $\text{MP}_{2,5}$ *outdoor* com mediana de 1,4 μm e desvio de 1,1. Como anteriormente mencionado, como a concentração limite média diária estipulada pela OMS é igual a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para ambientes *indoor* (2021), estipulou-se que este deveria ser o valor limite de C_{i0} , abaixo do qual o sistema HVAC seria eficaz para a ventilação da sala em termos de concentração de particulado.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os dados de função de densidade de probabilidade (ver TAN, 2014) do particulado calculada para cada tipo de meio filtrante candidato a filtro de *make up*, considerando-se um particulado advindo do ambiente externo $\text{MP}_{2,5}$ (mediana: 1,4 μm ; desvio padrão geométrico: 1,1). À esquerda (a), para o aerossol na entrada do meio filtrante e à direita (b), na saída, para cada tipo de filtro MERV e para filtro HEPA. Uma análise rápida permite estabelecer relações com resultados posteriores.

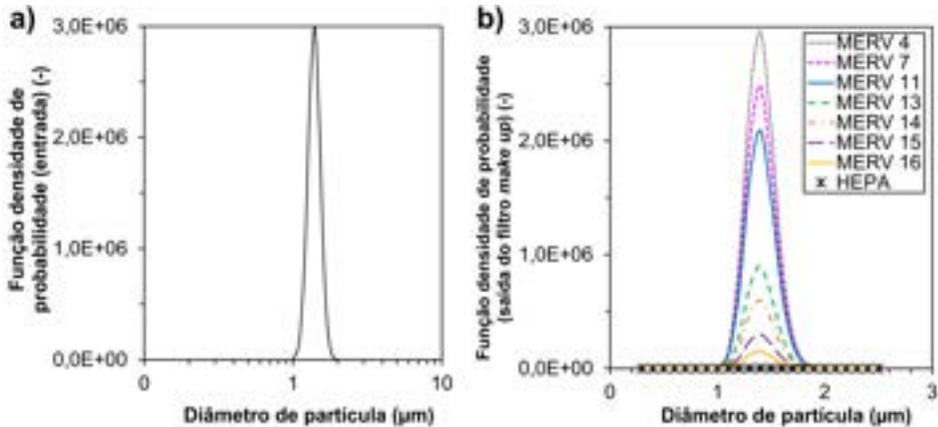


Figura 2. Função densidade de probabilidade do particulado antes (a) e após (b) a filtração com diferentes classificações para o filtro *make up*

Verifica-se não apenas a redução da densidade de probabilidade do aerossol com o aumento da classificação MERV devido ao aumento da eficiência (Tabela 1), como também a drástica redução obtida entre os meios filtrantes classificados por Stephens e Siegel (2012) e os da norma ASHRAE 52.2. A propósito, constata-se uma modificação na mediana da distribuição das curvas a depender da classificação do meio filtrante. Isto ocorreu porque, para os tipos MERV 15 e 16 e para o filtro HEPA, a eficiência de coleta é igual para as subdivisões da distribuição de tamanho de partícula (Tabela 1), o que não ocorre com os demais.

A partir dos cálculos e hipóteses assumidas, obteve-se os valores de C_{∞} (Figura 3 a) e τ (Figura 3 b) para os sistemas contendo diferentes filtros *make up* e filtros interno e de reciclo de eficiências $Ef_r = Ef_i$ conforme esquema da Figura 1. A concentração de saída estipulada (denominada *limite*) está destacada em vermelho para o gráfico de C_{∞} .

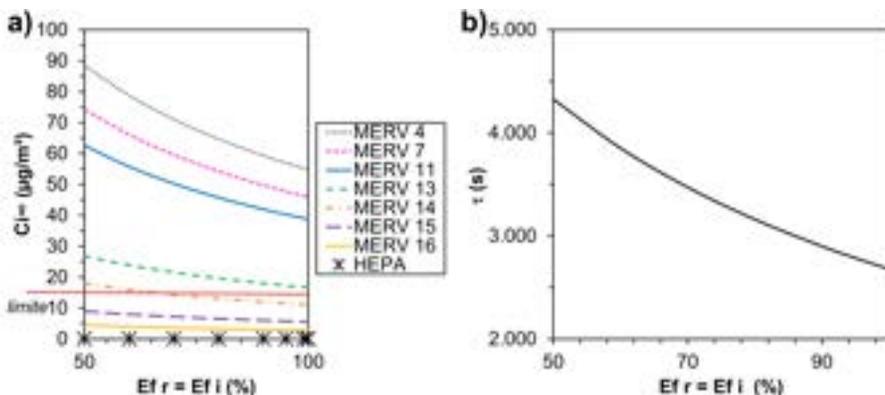


Figura 3. Valores de C_{∞} (a) e τ (b) para diferentes configurações de filtro *make up* e filtros de reciclo e interno do sistema HVAC proposto

Da Figura 3 (a), verifica-se que, para as condições operacionais e parâmetros de entrada utilizados neste estudo, não há combinação viável entre meios filtrantes internos e de reciclo de quaisquer eficiências com filtros *make up* com classificação MERV 4, 7, 11 e 13. Para a faixa de eficiência observada (50 a 99,99%), a concentração de $MP_{2,5}$ (incluindo gotículas e partículas virais) ao atingir-se o estado estacionário após o início da operação de ventilação é superior ao limite de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendado pela OMS (2021). Para o filtro MERV 14, sua associação com os meios filtrantes internos e de reciclo passa a ser viável para eficiências de filtração destes acima de 70%. Contudo, é necessário frisar que a eficiência de filtração para nanopartículas é fundamental no caso de retenção de partículas virais em ambientes fechados. Um sistema de ventilação e condicionamento de ar inadequado pode simplesmente ajudar na dispersão do vírus em vez de retê-lo, como reportado em um restaurante em Guangzhou (China) contendo um cliente contaminado com SARS-COV-2 (LU *et al.*, 2020). Assim, além de atender as normas de concentração da Organização Mundial de Saúde, é necessário um sistema eficiente na mitigação da dispersão destas partículas nanométricas. Desta forma, foram considerados neste estudo para compor os filtros interno e de reciclo os meios filtrantes de nanofibras de PVA desenvolvidos por Oliveira *et al.* (2021), uma vez que forneceram eficiências de coleta de nanopartículas (5,94–224,7 nm) de ~95%.

Verifica-se na Figura 3 (a) que o filtro HEPA utilizado como filtro *make up* faz ser dispensável o uso de meios filtrantes para atingir-se a concentração de saída estipulada. Nota-se que os resultados obtidos para C_{∞} estão bastante abaixo do limite delimitado e até mesmo próximos a zero, independentemente da eficiência dos filtros interno e de reciclo. Os meios filtrantes tipo MERV 15 e 16 possuem quase o mesmo comportamento, exceto que apresentam pequena variação de C_{∞} com o aumento de $Ef_r = Ef_i$. Pondera-se que elementos filtrantes tão eficientes não sejam necessários neste sistema à primeira vista e até mesmo que encareçam o processo em termos de consumo energético. Isto pode ser verificado na Tabela 1 ao comparar-se a queda de pressão média do filtro tipo HEPA em relação aos demais, seguidamente pelos filtros tipo MERV 15 e 16. Ainda na Figura 3 (b), nota-se a redução da variável τ com o aumento da eficiência dos meios filtrantes dos filtros interno e de reciclo e que não envolve o tipo de filtro de *make up*.

A Figura 4 exibe a relação da concentração no ambiente interno com tempo de operação para as diferentes configurações possíveis de filtro *make up* e filtros interno e de reciclo, com diferentes eficiências. Como complemento dos resultados da Figura 3, os gráficos da Figura 4 permitem visualizar quais configurações de filtro *make up* e filtros interno e de reciclo, a partir de determinado tempo de operação do sistema HVAC, atingem a concentração limite de $MP_{2,5}$ recomendada pela OMS (2021) (em vermelho e denominada *limite*). Novamente, as configurações utilizando filtros de classificação MERV 4, 7, 11 e 13 não atingem a concentração de saída estipulada mesmo após 10.000 s da partida da operação de ventilação (1,2–1,9 vezes a “constante de tempo” a depender de

$E_{f_r} = E_{f_p}$, conforme Figura 3). Configurações utilizando filtro tipo MERV 14 como filtro *make up* atingirão tal valor após 10.000 s para eficiências acima de 90%; demais configurações atingirão tal limite de concentração a tempos cada vez menores, a depender da eficiência dos meios filtrantes utilizados. Salienta-se que a faixa de tamanho de partícula analisada neste estudo é mais extensa que aquela avaliada no trabalho de Oliveira *et al.* (2021) no qual foram baseados os dados de performance dos meios filtrantes de PVA. Naquele estudo, foram atingidas eficiências de ~95% para partículas que inclusive constituem a faixa de mínimo de eficiência de filtração (HINDS, 1998). Portanto, é esperado que os meios filtrantes de PVA utilizados neste projeto colem com alta eficiência as partículas da faixa avaliada, ou seja, as partículas $MP_{2,5}$ advindas do exterior, além das nanopartículas geradas no ambiente interno.

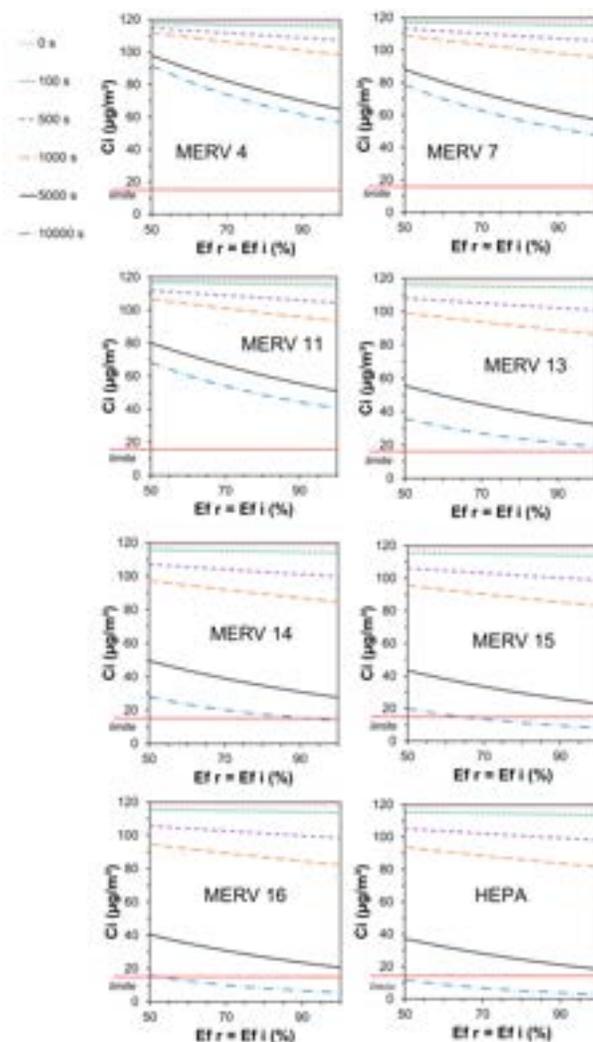


Figura 4. Valores de C_i em função do tempo de operação para diferentes configurações de sistema HVAC

A decisão sobre a escolha do meio filtrante adequado deve ser dada, além da eficiência, pelo consumo energético requerido do processo, além de custos relacionados à aquisição e troca dos meios filtrantes. Estes últimos custos envolvem aspectos comerciais que estão fora do escopo deste trabalho. Assim, a Figura 5 apresenta os resultados de potência requerida para a ventilação do sistema HVAC ilustrado na Figura 1 com diferentes configurações de filtros *make up* (apenas para MERV 14, 15 e 16), além dos filtros interno e de reciclo.

Nota-se na Figura 5 que, como esperado, o aumento do tempo de deposição dos meios filtrantes utilizados – e conseqüentemente sua eficiência – implica no aumento do consumo de energia requerida para a operação do sistema HVAC, o que está relacionado com a permeabilidade dos meios filtrantes e conseqüentemente à resistência que estes meios impõem à passagem da corrente gasosa (DAVIES, 1973). Considerando, por exemplo, um sistema HVAC com um meio filtrante MERV 15 como filtro *make up* e o restante dos filtros compostos por meios filtrantes fiados a partir de soluções de 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0% de PVA, que obtiveram experimentalmente ~95% de eficiência para nanopartículas da faixa de tamanho que inclui a faixa de vírus tipo SARS-COV-2, a potência requerida para ventilação seria respectivamente de 9; 11; 11 e 12 W para tempos de fiação de 30 min, ao passo que a substituição por um meio filtrante tipo MERV 14 implicaria num consumo de 8; 9; 10 e 10,8 W mantidas as demais condições. Por outro lado, a maior quantidade de particulado a adentrar a sala partindo de um filtro *make up* com menor capacidade de retenção de $MP_{2,5}$ implicaria em uma saturação mais rápida dos meios filtrantes dos filtros interno e de reciclo, que poderia exigir trocas mais frequentes destes.

Além do consumo energético, custos associados à compra e troca dos elementos filtrantes devem ser considerados na escolha das configurações mais econômicas. Azimi e Stephans (2013), ao projetar o sistema HVAC para a retenção de partículas virais de *Influenza* partindo-se dos meios filtrantes da Tabela 1, realizaram tais considerações. No entanto, não é possível mensurar facilmente o custo de compra de elementos filtrantes desenvolvidos em laboratório, sendo possível, em um primeiro momento, compará-los quanto a aspectos de performance.

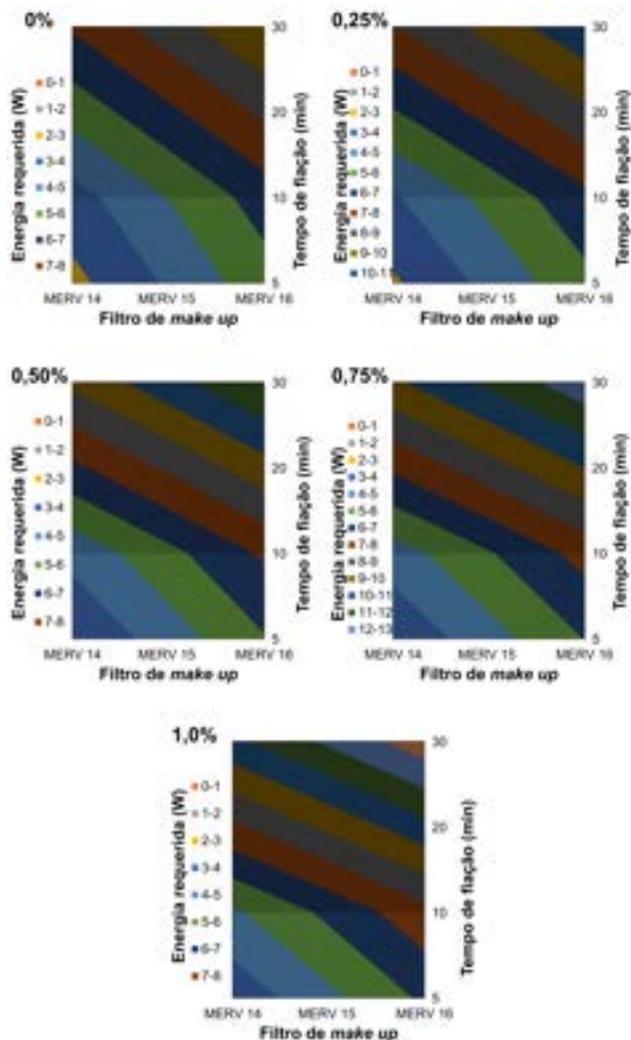


Figura 5. Potência total requerida para ventilação dos sistemas HVAC possíveis (cada gráfico corresponde ao meio filtrante de PVA produzido com distintos tempos de fiação para filtros interno e de reciclo – vertical – em associação com filtros MERV para filtros de make up)

Verifica-se, *a priori* que, para a retenção de ~95% do particulado gerado no interior da sala e advindo do ambiente externo sob as condições avaliadas do processo, é mais economicamente viável o uso de um meio filtrante tipo MERV 14 no filtro *make up* e filtros interno e de reciclo contendo elementos filtrantes de PVA fabricados a partir de solução com 0,25% em massa de PVA. Nestas condições, o tempo necessário para obter um ambiente com concentração *indoor* de $MP_{2,5}$ limite de acordo com a OMS seria de 167 minutos após a partida da operação. Para tempos menores, ou seja, caso se deseje ocupar mais rapidamente a sala com a concentração de aerossol recomendada pela OMS, uma nova combinação teria que ser realizada com um filtro de *make up* de maior eficiência,

mantidas as demais condições.

Há ainda que ser considerada a retenção das partículas virais nos elementos filtrantes dos filtros. Apesar de não ser o foco inicial no desenvolvimento do material, a aplicação em sistemas de ventilação pode sugerir a futura aplicação de agentes biocidas na produção das nanofibras de PVA, assim como outros trabalhos da literatura têm se especializado na aplicação de nanopartículas nas nanofibras, como as de prata em meios filtrantes destinados à filtração de ar contaminado com agentes biológicos (ROSA *et al.*, 2017; BORTOLASSI *et al.*, 2019; TREMILOSI *et al.*, 2020). De toda forma, o cuidado com a limpeza e a validade de meios filtrantes, seja em sistemas de ventilação e condicionamento de ar de edifícios ou de automóveis, deve ser sempre tomado de forma a evitar o crescimento de agentes biológicos retidos nas superfícies das fibras de meios filtrantes, que ocorre dependendo das condições ambientais do processo (KELKAR *et al.*, 2005; LI *et al.*, 2013; GOŁOFIT-SZYMCZAK *et al.*, 2019).

4 | CONCLUSÕES

Foi possível elaborar o projeto de um sistema HVAC para o controle da concentração *indoor* de particulado $MP_{2,5}$ em uma sala na qual nanopartículas virais de SARS-COV-2 eram geradas. Para isto, foi projetado um conjunto de meios filtrantes comerciais com os meios filtrantes de nanofibras de PVA produzidos experimentalmente em trabalho prévio. Foram considerados aspectos energéticos (queda de pressão) envolvidos na operação com meios filtrantes comerciais de distintas eficiências e também os relativos aos meios filtrantes de PVA produzidos com diferentes concentrações de surfactante Triton X-100. Foi possível obter um sistema que aliasse relativo baixo consumo energético com a obtenção da concentração de aerossol *indoor* recomendada pela OMS. Por exemplo, um sistema composto de um filtro MERV 14 (filtro de *make up*) e meios filtrantes de PVA com 0,25% m/m de Triton X-100 (filtros interno e de reciclo) seria adequado para manter a sala sob a concentração recomendada após 167 min do início da operação. Espera-se que esse sistema retenha o particulado nanométrico gerado na sala graças à eficiência de coleta das nanofibras que foi comprovada experimentalmente. Este sistema requereria uma potência de 8 W considerando-se apenas a queda de pressão dos meios filtrantes limpos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (141299/2019-3) e à Capes (001) pelo apoio financeiro fornecido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASADI, S.; WEXLER, A. S.; CAPPÀ, C. D.; BARREDA, S.; BOUVIER, N. M.; RISTENPART, W. D. **Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness.** *Nature*, vol. 9, 2348, 2019.

ASHRAE. **Standard 52.2. Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007.

ASHRAE. **Standard 62.1. Ventilation for acceptable indoor air quality.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2010.

AZIMI, P.; STEPHENS, B. **HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments:** Predicting risk reductions and operational costs. *Building and Environment*, vol. 70, pp. 150 – 160, 2013.

BORTOLASSI, A. C. C.; NAGARAJAN, S.; LIMA, B. A.; GUERRA, V. G.; AGUIAR, M. L.; HUON, V.; SOUSSAN, L.; CORNU, D.; MIELE, P.; BECHELANY, M. **Efficient nanoparticles removal and bactericidal action of electrospun nanofibers membranes for air filtration.** *Materials Science and Engineering: C*, vol. 102, pp. 718 – 729, 2019.

DAVIES, C. N. **Air filtration.** London: Academic Press, 1973.

DENG, G.; LI, Z.; WANG, Z.; GAO, J.; XU, Z.; LI, J.; WANG, Z. **Indoor/outdoor relationship of PM_{2.5} concentration in typical buildings with and without air cleaning in Beijing.** *Indoor and Built Environment*, vol. 26, n. 1, pp. 60 – 68, 2017.

EMW FILTERTECHNIK. **ISO 29463 - New test standard for HEPA Filters.** Disponível em: <<https://www.emw.de/en/filter-campus/iso29463.html>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

GOŁOFIT-SZYMCZAK, M.; STOBNICKA-KUPIEC, A.; GÓRNY, R., L. **Impact of air-conditioning system disinfection on microbial contamination of passenger cars.** *Air Quality, Atmosphere, and Health*, vol. 12, pp. 1127 – 1135, 2019.

HINDS, C. W. **Aerosol Technology: Properties, Behaviour, and Measurement of Airborne Particles.** 2^a ed. New York: John Wiley, 1998.

HUANG, C.; ITO, N.; TSENG, C.-T. K.; MAKINO, S. **Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 7a Accessory Protein Is a Viral Structural Protein.** *Journal of Virology*, vol. 80, n. 15, pp. 7287 – 7294, 2006.

JOHNSON, D. F.; DRUCE, J. D.; BIRCH, C.; GRAYSON, M. L. **A Quantitative Assessment of the Efficacy of Surgical and N95 Masks to Filter Influenza Virus in Patients with Acute Influenza Infection.** *Clinical Infection Diseases*, vol. 49, pp. 275 – 277, 2009.

KELKAR, U.; BAL, A. M.; KULKARNI, S. **Fungal contamination of air conditioning units in operating theatres in India.** *Journal of Hospital Infection*, vol. 60, pp. 81 – 84, 2005.

KIM, H.-J.; HAN, B.; KIM, Y.-J.; ODA, T.; WON, H. **Submicrometer particle removal indoors by a novel electrostatic precipitator with high clean air delivery rate, low ozone emissions, and carbon fiber ionizer.** *Indoor Air*, vol., 23, n. 5, pp. 369 – 378, 2013.

LI, J.; LI, M.; SHEN, F.; ZOU, Z.; YAO, M.; WU, C.-Y. **Characterization of Biological Aerosol Exposure Risks from Automobile Air Conditioning System.** *Environmental Science and Technology*, vol. 47, pp. 10660 – 10666, 2013.

LU, J.; GU, J.; LI, K.; XU, C.; SU, W.; LAI, Z.; ZHOU, D.; YU, C.; XU, B.; YANG, Z. **COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020.** *Emerging Infectious Diseases*, vol. 26, n. 7, pp. 1628 – 1631, 2020.

OLIVEIRA, A. E.; AGUIAR, M. L.; GUERRA, V. G. **Improved filter media with PVA/citric acid/Triton X-100 nanofibres for filtration of nanoparticles from air.** *Polymer Bulletin*, v. 78, p. 6387–6408, 2021.

PARK, J. H.; YOON, K. Y.; HWANG, J. H. **Removal of submicron particles using a carbon fiber ionizer-assisted medium airfilter in a heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) system.** *Building and Environment*, vol. 46, pp. 1699 – 1708, 2011.

ROHIT, A.; RAJASEKARAN, S.; KARUNASAGAR, I.; KARUNASAGAR, I. **Fate of respiratory droplets in tropical vs temperate environments and implications for SARS-CoV-2 transmission.** *Medical Hypotheses*, vol. 144, 109958, 2020.

ROSA, P. F.; AGUIAR, M. L.; BERNARDO, A. **Modification of Cotton Fabrics with Silver Nanoparticles for Use in Conditioner Air to Minimize the Bioaerosol Concentration in Indoor Environments.** *Water, Air, & Soil Pollution*, vol., 228, 244, 2017.

SCHELLER, C.; KREBS, F.; MINKNER, R.; ASTNER, I.; GIL-MOLES, M.; WÄTZIG, H. **Physicochemical properties of SARS-CoV-2 for drug targeting, virus inactivation and attenuation, vaccine formulation and quality control.** *Electrophoresis*, vol. 41, n. 13–14, pp. 1137 – 1151, 2020.

SETTI, L.; PASSARINI, F.; DE GENNARO, G.; BARBIERI, P.; PERRONE, M. G.; BORELLI, M.; PALMISANI, J.; DI GILIO, A.; PISCITELLI, P.; MIANI, A. **Airborne Transmission Route of COVID-19: Why 2 Meters/6 Feet of Inter-Personal Distance Could Not Be Enough.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, n. 8, 2932, 2020.

STADNYTSKYI, V.; BAX, C. E.; BAX, A.; ANFINRUD, P. **The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, n. 22, pp. 11875 – 11877, 2020.

STEPHENS, B.; SIEGEL, J. A. **Comparison of test methods for determining the particle removal efficiency of filters in residential and light-commercial central HVAC systems.** *Aerosol Science and Technology*, vol. 46, n. 5, 504 – 513, 2012.

SUNG, A. D.; SUNG, J. A. M.; THOMAS, S.; HYSLOP, T.; GASPARETTO, C.; LONG, G.; RIZZIERI, D.; SULLIVAN, K. M.; CORBET, K.; BROADWATER, G.; CHAO, N. J.; HORWITZ, M. E. **Universal Mask Usage for Reduction of Respiratory Viral Infections After Stem Cell Transplant: A Prospective Trial.** *Clinical Infectious Diseases*, vol. 63, pp. 999 – 1006, 2016.

TAN, Z. **Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control**. Singapore: Springer, 2014.

TREMILIOSI, G. C.; SIMOES, L. G. P.; MINOZZI, D. T.; RENATO, I.; VILELA, D. C. B.; DURIGON, E. L.; MACHADO, R. R. G.; MEDINA, D. S.; RIBEIRO, L. K.; ROSA, I. L. V.; ASSIS, M.; ANDRÉS, J.; LONGO, E.; FREITAS-JUNIOR, L. H. **Ag nanoparticles-based antimicrobial polycotton fabrics to prevent the transmission and spread of SARS-CoV-2**, bioRxiv, ppbiorxiv-152520, 2020.

WARING, M. S.; SIEGEL, J. A.; CORSI, R. L. **Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners**. Atmospheric Environment, vol. 42, n. 20, pp. 5003 – 5014, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Coronavirus disease (COVID-19) – Situation Report – 190**. Disponível em: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200728-covid-19-sitrep-190.pdf?sfvrsn=fec17314_2>. Acesso: 28 jul. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. Executive summary. 2021. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/345334>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

ZHANG, Z.; HAN, T.; YOO, K. H.; CAPECELATRO, J.; BOEHMAN, A. L.; MAKI, K. **Disease transmission through expiratory aerosols on an urban bus**. Physics of Fluids, vol. 33, n. 015116, 2021.

ZHOU, S. S.; LUKULA, S.; CHIOSSONE, C.; NIMS, R. W.; SUCHMANN, D. B.; IJAZ, M. K. **Assessment of a respiratory mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses**. The Journal of Thoracic Disease, vol. 10, n. 3, pp. 2059 – 2069, 2018.

ZHU, J.; GUO, J.; XU, Y.; CHEN, X. **Viral dynamics of SARS-CoV-2 in saliva from infected patients**. Journal of Infection, vol. 81, n. 3, pp. 48 – 50, 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acetato de celulose (CA) 88

Ácido cítrico 47, 48, 49, 50, 51, 52

Ácido peracético (PAA) 53, 55, 56, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66

Açúcares 49, 53, 57, 58, 64, 66, 67

Agentes porogênicos 97

Álcool polivinílico (PVA) 1, 6, 17

Aquecimento 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 58, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81

Aspergillus awamori 47, 48, 49, 52

Autoclave 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46

B

Biomassa 50, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 87

Biorreator 49, 50

C

Carbón 99, 100, 101, 102, 103

Células fúngicas 50

Centrifugação 86, 87, 89, 96

Chiller 69, 70, 72, 73, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Cinzas 58, 59

Combustível fóssil 69, 70, 71, 72, 83, 84

Condensador 70, 72, 73, 74, 75, 80, 82, 83

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) 57, 61

D

Desaeração 34, 37

Deslignificação 53, 55, 60, 65, 67

E

Ecossistemas 87

Efeito estufa 69, 70

Eficiência energética 69, 70

Electrospinning 1, 2, 6, 17, 18, 19, 22, 28, 30, 31, 32

Energia elétrica 69, 71, 77, 78, 80, 81

Energia térmica 81

Enzimas 3, 52, 53, 54, 55, 58, 63, 64, 65, 67, 87

Escala de bancada 86, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97

Esterilização 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 46

Etapa de exaustão 36

Eucalyptus 53, 54, 55, 56, 67

F

Filtração 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 17, 18, 19, 22, 23, 27, 28, 30, 60, 65, 87, 88, 89, 90, 94, 97

Floculação-sedimentação 86, 87, 89, 96

Fungos 2, 49, 55, 64

G

Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) 69, 71, 77

Glicana 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64

Glicose 50, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

Gravimetria 57

H

Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC) 1

Hemicelulose 53, 54, 55, 63, 64, 67, 68

Hidrólise 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67

High Efficiency Particulate Arrestance (HEPA) 2

I

Indústria de alimentos 33, 35

L

Lacase 53, 55, 56, 58, 65

Lignina 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 67, 68

Lignocelulósicos 53, 54, 55

M

Madeira 53, 61

Manômetro 37, 90

Mecanismo de *fouling* 88

Meio ambiente 69, 70, 72
Membrana 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97
Microalgas 86, 87, 88, 89, 90, 93, 96, 97
Microfiltração 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98
Microrganismo 34, 49, 51
Minimum Efficiency Reporting Values (MERV) 1, 2, 3, 5
Modelo matemático 34, 39, 40, 45, 46
Monômero 62

N

Nanofibras 1, 3, 6, 9, 13, 17, 18, 19, 22, 23
Nanopartículas 1, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 24

O

Organização Mundial de Saúde (OMS) 1, 3, 9

P

Pirolisis 99, 100, 101, 102, 103
Polímero 6, 18, 19, 23, 24, 60
Processamento térmico 34, 35, 39, 46
Processos industriais 33
Produto alimentício 33, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45

R

Reaproveitamento 53
Rejeito térmico 70, 72
Remoción 99, 100, 101, 102
Resfriamento 33, 35, 36, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 78, 81, 83

S

Separação gás-sólido 18
Serragem 56, 57, 59, 64
Solvente 18, 19, 22
Substrato 47, 49, 50, 51, 52, 53, 59

T

Temperatura 3, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 51, 53, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 63, 66, 67, 69, 73, 74, 75, 76, 80, 88

Termômetro 37, 38

V

Volatile Organic Compounds (VOCs) 2

X

Xilana 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Xilose 53, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 65, 66, 67

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos 2

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos 2