

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE MÁSCARAS NA RETENÇÃO DE
NANOPARTÍCULAS DE ACORDO COM AS NORMAS TÉCNICAS**

Tayanna Cristina Passos Pereira

São Carlos

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE MÁSCARAS NA RETENÇÃO DE
NANOPARTÍCULAS DE ACORDO COM AS NORMAS TÉCNICAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos Como parte dos requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de Controle Ambiental.

Aluna: Tayanna Cristina Passos Pereira
Orientadora: Prof. Dra. Mônica Lopes Aguiar
Coorientador: Dr. Bruno de Araújo Lima

São Carlos
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Tayanna Cristina Passos Pereira, realizada em 31/05/2022.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Mônica Lopes Aguiar (UFSCar)

Profa. Dra. Vádila Giovana Guerra Béttega (UFSCar)

Profa. Dra. Leila Droprinchinski Martins (UTFPR)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

(Madre Teresa de Calcutá)

Dedico este trabalho aos meus pais, Silvana e Marcos, e à minha irmã que sempre me apoiaram nas minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por me guiar, amparar nos momentos difíceis durante esta caminhada.

Agradeço aos meus pais por compreenderem minhas escolhas e me apoiarem nos momentos difíceis.

À Tássia, minha irmã, que me ajudou nos momentos difíceis e sempre me apoiou.

Aos meus orientadores, Dra. Mônica Lopes Aguiar e Dr. Bruno de Araújo Lima, pela orientação, suporte, atenção, compreensão, correções e sugestões durante toda a elaboração deste trabalho.

À todo o grupo de pesquisa do Laboratório de Controle Ambiental do Departamento de Engenharia Química da UFSCar.

Aos meus amigos que estiveram comigo durante toda a minha caminhada.

À prof. Dra. Vádila Guerra, Dra. Daniela Patrícia Freire Bonfim, prof. Dra. Leila Droprinchinski Martins pela participação na avaliação deste trabalho.

Aos técnicos Marcos e Samuel que se mostraram sempre muito solícitos em todas as dificuldades encontradas durante toda a elaboração deste trabalho.

À Universidade Federal de São Carlos, pela oportunidade de realizar o mestrado em Engenharia Química.

Ao departamento de Engenharia Química da UFSCar pela infraestrutura e equipamentos utilizados para desenvolver este trabalho.

Ao departamento de Engenharia Química de Materiais da UFSCar pelas análises realizadas de Microscopia Eletrônica de Varredura.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro disponibilizado durante o mestrado, ao CNPq pelo auxílio financeiro disponibilizado durante o projeto para a compra de equipamentos necessários para o desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

No início do ano de 2020, o vírus SARS-CoV-2 causou uma doença denominada COVID-19 que provocou uma pandemia mundial. Em decorrência, houve o aumento da demanda de EPI's (máscaras, aventais, toucas, etc) no meio hospitalar. Com os números cada vez mais alarmantes de infectados pelo mundo, a OMS recomendou que a população também usasse máscaras para a sua proteção, aumentando o consumo deste EPI, levando a escassez de máscaras no mercado mundial. Dentro deste contexto, o entendimento sobre a diferença entre os tipos de máscaras e as normas que vigoram sobre a caracterização destas é muito importante. Dessa forma, o presente trabalho visa estudar as normas vigentes (americanas, europeias e brasileiras) e propor melhorias nas caracterizações de materiais filtrantes. Sendo assim, este trabalho consiste em buscar inovação no desenvolvimento de protocolos para caracterizar as máscaras. Oito máscaras foram testadas, sendo seis máscaras cirúrgicas e dois respiradores, para avaliar a melhor forma de caracterizá-las. Os testes realizados foram: determinação de permeabilidade, diâmetro de fibras através de Imagens de MEV, eficiência de filtração de partículas e queda de pressão (respirabilidade). Sendo estes dois últimos testes realizados utilizando as normas vigentes como base. Algumas alterações foram realizadas para avaliar a interferência nos testes. A combinação da eficiência de filtração e a respirabilidade é muito importante para a qualidade da máscara. Os testes de permeabilidade foram condizentes com os testes de queda de pressão, visto que a máscara que obteve maior permeabilidade, foi a que apresentou menor queda de pressão. Os resultados obtidos por todas as máscaras cirúrgicas não atingiram resultados desejados pelas normas, em nenhuma condição de teste. Apenas os respiradores apresentaram resultados próximos ao que é estipulado pela norma (95%) na velocidade superficial mais baixa testada (6,51 cm/s). As normas não utilizam condições corretas para a realização dos testes, uma vez que deveria ser realizado testes em velocidades que simulam atividade respiratória humana. Um exemplo disso é o fato da norma brasileira atual e a norma americana permitir uma ampla faixa na velocidade de face (0,5 a 25 cm/s) que não representam nenhuma atividade humana, visto que a velocidade de um espirro pode variar entre 20 e 50 m/s, ou seja pelo menos 100 vezes maior que o limite máximo proposto pela norma. A respiração de uma pessoa em repouso é em torno de 6 L/min. Dessa forma, uma vazão ideal para a realização dos testes seriam vazões próximas a esse valor. Neste trabalho foram realizados testes, seguindo as normas, utilizando a vazão de 7 L/min e as máscaras não apresentaram bom desempenho, sendo o melhor resultado próximo a 56% de eficiência na coleta de partículas de 100 nm. Este baixo desempenho pode estar relacionado ao tamanho das partículas que os testes foram realizados, porque as máscaras cirúrgicas são indicadas para serem recomendadas para serem utilizadas contra patógenos transmitidos por gotículas e os respiradores (PFF) são indicadas para doenças transmitidas por aerossóis. E como o teste foi realizado para partículas de 100 nm (aerossóis) as máscaras cirúrgicas apresentaram um desempenho inferior. De forma geral, este trabalho possibilitou avaliar parâmetros que interferem diretamente nos resultados dos testes que são propostos pelas normas técnicas para máscara cirúrgica. Concluindo que os testes devem ser revistos e definir melhores parâmetros (concentração de partículas de aerossóis, tamanho das partículas, vazão do teste, área de teste ou a velocidade superficial) e definir o equipamento que deve ser utilizado de acordo com a eficiência de contagem e de classificação das partículas.

ABSTRACT

In early 2020, the SARS-CoV-2 virus caused a disease known as COVID-19 that caused a worldwide pandemic. As a result, there was an increase in the demand for PPE (masks, aprons, gown, etc.) in the hospital environment. With the growing alarming numbers of infected around the world, WHO recommended that the population also wear masks for their protection, increasing the consumption of this PPE, leading to a shortage of masks in the world market. Within this context, the understanding of the difference between the types of masks and the standards that exist on the characterization of these is very important. Thus, the present work objectives to study the current standards (American, European and Brazilian) and propose improvements in the characterizations of filtering materials. Therefore, this work consists of seeking innovation in the development of protocols to characterize masks. Eight masks were tested, six surgical masks and two respirators, to assess the best way to characterize them. The tests were: determination of permeability, fiber diameter through SEM images, particle filtration efficiency and pressure drop (breathability). These last two tests are carried out using the current standards as a basis. Some changes were made to evaluate the interference in the tests. The combination of filtration efficiency and breathability is very important for the quality of the mask. The permeability tests were consistent with the pressure drop tests, since the mask that obtained the highest permeability was the one with the lowest pressure drop. The results obtained by all surgical masks did not accomplish desired results by the standards, in any test condition. Only the respirators presented results close to what is stipulated by the standard (95%) at the lowest surface speed tested (6,51 cm/s). The standards do not use the correct conditions for the tests, since tests should be performed at speeds that simulate human respiratory activity. An example of this is the fact that the current Brazilian Standard and the American Standard allow a wide range in face velocity (0,5 to 25 cm/s) that do not represent any human activity, since the speed of a sneeze can vary between 20 and 50 m/s, that is, at least 100 times higher than the maximum limit proposed by the standard. The breathing of a person at rest is around 6 L/min. Thus, an ideal flow rate for performing the tests would be flows close to this value. In this work, tests were performed, following the standards, using the flow rate of 7 L/min and the masks did not present good performance, with the best result being close to 56% efficiency in the collection of particles of 100 nm. This low performance can be related to the size of the particles that the tests were carried out, because surgical masks are recommended for use against droplet-transmitted pathogens and respirators (PFF) are indicated for diseases transmitted by aerosols. And since the test was performed for 100 nm particles (aerosols) the surgical masks performed poorly. In general, this work made it possible to evaluate parameters that directly interfere with the results of the tests that are proposed by the technical standards for surgical masks. Concluding that the tests must be reviewed and define better parameters (concentration of aerosol particles, particle size, test flow rate, test area or surface velocity) and define the equipment that must be used according to the counting and classification efficiency of the particles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismos de deposição das partículas no meio filtrante.	25
Figura 2 - Esquema de funcionamento do sistema de teste de filtração.	32
Figura 3 - Manômetro eletrônico utilizado no sistema de testes.	33
Figura 4 - Medidor de temperatura e umidade.	33
Figura 5 - Barômetro de Torricelli.	34
Figura 6 - Rotâmetro.	34
Figura 7 - Neutralizador de Kr-85).	35
Figura 8 - Gerador de partículas.	35
Figura 9 - Secador por difusão.	36
Figura 10 - Contador de partículas.	36
Figura 11 - Seletor de diâmetro de partículas.	37
Figura 12 - Sistema de amostragem de aerossol.	38
Figura 13 - Caixa de acrílico com a cabeça de manequim.	38
Figura 14 - Sistema do equipamento de eficiência de filtração com a caixa de acrílico inserida.	39
Figura 15 - Preparação das máscaras para os testes no suporte. A: sem as dobradiças; B: com as dobradiças.	40
Figura 16 - Representação da variação da concentração das partículas de Látex e NaCl a cada coleta.	49
Figura 17 - Imagens de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV) das máscaras cirúrgicas.	56
Figura 18 – Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das máscaras PFF.	57
Figura 19 - Queda de Pressão das máscaras segundo a norma brasileira ABNT NBR 15052 (2004).	58
Figura 20 - Queda de pressão das máscaras com a presença de dobradiças.	60
Figura 21 - Queda de Pressão das máscaras segundo a norma ABNT NBR 15052 (2021).	61
Figura 22: Testes de eficiência de filtração utilizando partícula de Látex e vazão de 28 L/min.	64
Figura 23 - Eficiência de filtração de nanopartículas de NaCl de acordo com a norma ABNT NBR 15052 (2004).	66
Figura 24 - Simulação de como se utiliza as máscaras.	70
Figura 25 - Teste realizado com a presença de dobradiça de acordo com a norma ABNT NBR 15052 (2004).	70
Figura 26 - Eficiência de filtração de nanopartículas de NaCl, utilizando a cabeça de manequim.	73
Figura 27 - Cabeças de manequins utilizadas durante os testes.	74
Figura 28 - Comparação do ajuste ao rosto da cabeça feminina e cabeça masculina.	75
Figura 29 - Ajuste da máscara C1 no rosto dos manequins.	76
Figura 30 - Ajuste da máscara D no rosto dos manequins.	77
Figura 31 - Ajuste da máscara A98% no rosto dos manequins.	78
Figura 32 - Resultados dos testes realizados segundo a ABNT NBR 15052 (2021).	79
Figura 33 - Distância da cabeça até o ponto de coleta das partículas.	81
Figura 34 - Resultado com a variação da geração das partículas de Látex.	82
Figura 35 - Resultado com a variação da geração das partículas de NaCl.	83
Figura 36 - Eficiência de filtração da máscara A95% de acordo com o diâmetro das partículas.	84
Figura 37 - Eficiência de filtração da máscara A98% de acordo com o diâmetro das partículas.	85
Figura 38 - Eficiência de filtração da máscara C1 de acordo com o diâmetro das partículas.	86
Figura 39 - Eficiência de filtração da máscara D de acordo com o diâmetro das partículas.	86
Figura 40 - Eficiência de filtração da máscara E de acordo com o diâmetro das partículas.	87
Figura 41 - Eficiência de filtração da máscara F de acordo com o diâmetro das partículas.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Testes definidos pela norma ABNT NBR 15052 (2004) e os resultados obtidos pela máscara para que seja aprovada.....	15
Tabela 2 - Requisito de material de máscara facial médica por nível de desempenho segundo a ABNT NBR 15052 (2021).....	16
Tabela 3 - Requisito de material de máscara facial médica por nível de desempenho (ASTM F2100, 2019).	17
Tabela 4 - Resultados esperados pelas máscaras segundo a norma EN 14683 (2019).....	19
Tabela 5 - Testes propostos pelas normas de máscara cirúrgica e resultados esperados.	21
Tabela 6 - Resultados esperados pelos respiradores segundo a norma ABNT NBR 13698 (2011)...	22
Tabela 7 - Máscaras utilizadas durante os testes.	39
Tabela 8 - Resumo dos testes que foram realizados.	43
Tabela 9 - Velocidade superficial de acordo com cada vazão e área utilizada para realizar o teste de eficiência de filtração.	44
Tabela 10 - Vazões utilizadas nos testes de acordo com a norma americana ASTM F2299 (2017). .	45
Tabela 11 - Tempo necessário para a estabilização da quantidade de partículas presente na caixa. 46	
Tabela 12 - Teste de estabilidade das partículas de Látex e NaCl.....	48
Tabela 13 - Permeabilidade das máscaras utilizadas durante os testes com partículas de NaCl.....	52
Tabela 14 -Diâmetro das fibras.....	57
Tabela 15 - Resultados encontrados utilizando partículas de Látex conforme o teste da norma brasileira ABNT NBR 15052 (2004).	63
Tabela 16 - Eficiência de filtração de nanopartículas de NaCl de acordo com a norma ABNT NBR 15052 (2004).	67
Tabela 17 - Reynolds para cada vazão utilizado durante os testes.	68
Tabela 18 - Teste realizado com a presença de dobradiça de acordo com a norma ABNT NBR 15052 (2004).	71
Tabela 19 - Eficiência de filtração de nanopartículas de NaCl, utilizando a cabeça de manequim.	72
Tabela 20 - Resultados obtidos pelas máscaras durante os testes segundo a ABNT NBR 15052 (2021).	80
Tabela 21 - Resultados obtidos para pressão diferencial das máscaras testadas segundo a norma ABNT BR 15052 (2004).	103
Tabela 22 - Resultados obtidos para eficiência de filtração de partículas das máscaras testadas segundo a norma ABNT NBR 15052 (2004).....	104
Tabela 23 - Resultados obtidos durante o teste utilizando a caixa de acrílico.....	106
Tabela 24 - Resultados obtidos para pressão diferencial das máscaras testadas segundo a norma ABNT NBR 15052 (2021).....	107
Tabela 25 - Resultados obtidos para eficiência de filtração das máscaras testadas segundo a norma ABNT NBR 15052 (2021).....	107
Tabela 26 - Resultados de permeabilidade obtidos pelas máscaras testadas.	108

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1.	Ventilação em ambientes fechados	4
3.2.	Equipamentos de Proteção Individual.....	7
3.2.1.	Máscaras	8
3.2.1.1.	Máscaras cirúrgicas e respiradores	9
3.2.1.2.	Máscaras caseiras	11
3.2.2.	Normas de caracterizações para máscaras cirúrgicas	14
3.2.2.1.	ABNT NBR 15052 (2004).....	14
3.2.2.2.	ABNT NBR 15052 (2021)	16
3.2.2.3.	Normas Americanas	17
3.2.2.4.	EN 14683 (2019).....	19
3.2.3.	Norma de caracterização para PFF.....	21
3.3.	Filtração	23
3.3.1.	Mecanismos de coleta	24
3.3.1.1.	Efeito de interceptação direta.....	25
3.3.1.2.	Impactação inercial.....	26
3.3.1.3.	Difusão Browniana	26
3.3.1.4.	Efeito eletrostático.....	27
3.3.1.5.	Mecanismo gravitacional	27
3.3.2.	Permeabilidade	27
3.3.3.	Meios filtrantes	29
3.3.4.	Aerossóis	30
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1.	Equipamento de filtração.....	32

4.2. Materiais	39
4.3. Metodologias	40
4.3.1. Estabilidade de geração de Partículas	40
4.3.2. Queda de pressão (respirabilidade).....	41
4.3.3. Eficiência de filtração de partículas.....	42
4.3.3.1. Eficiência de filtração de partículas de acordo com a ABNT NBR 15052 (2004).....	43
4.3.3.2. Eficiência de filtração de partículas de acordo com a ABNT NBR 15052 (2021).....	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1. Análise da estabilidade de partículas	48
5.2. Análise das Normas para máscara cirúrgica	49
5.3. Permeabilidade	51
5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	54
5.5. Queda de Pressão (respirabilidade)	57
5.6. Eficiência de filtração.....	62
5.6.1. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2004) com nanopartículas de Látex	63
5.6.2. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2004) com nanopartículas de NaCl.....	65
5.6.3. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2004) com a presença das dobradiças	69
5.6.4. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2021) com a caixa de acrílico.....	71
5.6.5. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2021)	78
5.6.6. Avaliação da interferência da geração das partículas no teste de eficiência de filtração	81
5.6.7. Eficiência de filtração com distribuição das partículas	83

5.7. Sugestões para as normas	88
6. CONCLUSÃO	91
7. TRABALHOS FUTUROS.....	93
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
APÊNDICE.....	103

1. INTRODUÇÃO

O mundo inteiro foi atingido pelo coronavírus (COVID-19), uma síndrome respiratória aguda grave (SARS-CoV-2), com uma alta taxa de transmissão (KONDA *et al.*, 2020). Essa doença foi descoberta na China e espalhou-se de país em país seguindo rotas de viagens. O primeiro relato na Organização Mundial da Saúde (OMS) foi em 31 de dezembro de 2019 e rapidamente se tornou uma pandemia (MORAWSKA, Lidia; CAO, 2020).

Devido a essa situação a procura por Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) aumentou para proteger os profissionais de saúde que estão na linha de frente. Além disso, a população começou a utilizar máscaras no intuito de diminuir a taxa de transmissão do vírus (HUANG *et al.*, 2020).

A contaminação deste vírus pode ocorrer através do contato com gotículas ou aerossóis gerados durante a fala e espirro (BLACHERE *et al.*, 2022; CHAND *et al.*, 2021; PRATHER; WANG; SCHOOLEY, 2020). As gotículas por serem maiores e mais pesadas, tendem a se depositar em superfícies, já os aerossóis permanecem mais tempo no ar, locomovendo-se por uma maior distância, permitindo contaminação através do ar (transmissão aérea) (LI *et al.*, 2022; TANG *et al.*, 2021). Por tanto, a OMS recomenda medidas de prevenção como: evitar aglomeração, utilização de máscaras e ter os cuidados de higiene necessários (AYDIN *et al.*, 2020; MORAWSKA, Lidia; CAO, 2020).

No início da pandemia, o fornecimento de máscaras e respiradores não conseguiu suprir as necessidades, as máscaras de tecido passaram a ser opção e foram recomendadas pelos órgãos de saúde para serem usadas pela população como forma de uma resposta antecipada a prevenção contra o vírus (AYDIN *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020).

Muitos trabalhos começaram a ser realizados para contribuir para o achatamento da curva de contaminação como, por exemplo, melhorar a eficiência dos equipamentos de proteção individual (LOCKHART *et al.*, 2020). Neste sentido, Aydin *et al.* (2020) e Konda *et al.* (2020) realizaram estudos para avaliar a eficiência de filtração de diferentes tecidos utilizados na fabricação de máscaras caseiras. Outros estudos estão sendo realizados referente a vacina e algumas já foram aprovadas pela OMS como a Pfizer, Moderna, Janssen, AstraZeneca/Oxford entre outras (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021). Os resultados obtidos até o momento têm

demonstrado que as vacinas para COVID-19 têm reduzido o número de morte pela doença.

Dentro dos estudos para equipamentos de proteção é muito importante ter conhecimento das normas existentes, pois esses EPI's devem ser testados de acordo com suas metodologias e atender seus requisitos. As Normas Brasileiras, Americanas e Europeias determinam quais e como os testes devem ser realizados e impõe os resultados que devem ser obtidos para que os equipamentos de proteção individual possam ser utilizados.

Os principais testes para analisar a qualidade das máscaras são a avaliação da eficiência de filtração para aerossóis e da queda de pressão. O teste de eficiência de filtração de aerossóis avalia o desempenho da máscara na retenção de partículas e sua capacidade de proteger as pessoas contra patógenos. A queda de pressão avalia o conforto da máscara, quanto menor a queda de pressão maior o conforto e a respirabilidade.

Analisando todos esses contextos, este trabalho tem como objetivo propor melhorias nas metodologias dos testes de eficiência de filtração e queda de pressão apresentadas pelas normas técnicas para máscaras cirúrgicas. Este objetivo foi alcançado após avaliar as normas técnicas, realizar testes de acordo com elas e mudança de parâmetros.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho das máscaras cirúrgicas, quanto às suas capacidades de proteção e de conforto para o usuário e sugerir a metodologia mais adequada para a caracterização das máscaras cirúrgicas.

Como objetivos específicos, têm-se:

- i. Avaliar criticamente as normas vigentes para máscaras cirúrgicas;
- ii. Realizar os testes de queda de pressão e eficiência de filtração para aerossóis segundo as normas nacionais e internacionais vigentes;
- iii. Avaliar a permeabilidade das máscaras;
- iv. Avaliar a morfologia das fibras nas máscaras;
- v. Propor adequações nos testes de caracterização das máscaras, a fim melhorar a qualidade das máscaras e proteger melhor os usuários contra os patógenos que podem ser inalados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os principais tópicos relacionados ao tema desta dissertação, que são: a influência da ventilação em ambientes fechados na disseminação do vírus, os Equipamentos de Proteção Individual (EPI's), os tipos de máscaras e as normas existentes no âmbito nacional e internacional. Será abordado os conceitos de filtração, mecanismos de filtração, as principais características das máscaras (permeabilidade, respirabilidade e eficiência de filtração) e dos aerossóis retidos.

3.1. Ventilação em ambientes fechados

A ventilação dos ambientes é um quesito muito importante a ser avaliado, pois interferem diretamente para a transmissão de doenças infecciosas. Ambientes fechados que não possuem ventilação podem facilitar o contágio de doenças transmitidas pelo ar. Algo que pode facilitar ainda mais essa transmissão é o sistema de ventilação que apenas faz a recirculação do ar, como o ar-condicionado.

Lu et al. (2020) realizaram um estudo em um restaurante com ar-condicionado em Guangzhou, China. O estudo foi relacionado à contaminação por COVID-19 de 9 pessoas depois de terem almoçado no restaurante. Três famílias almoçaram nesse restaurante, cada família sentada em uma mesa e com distância superior a 1 metro. Um integrante da família **A** apresentou sintomas no fim daquele mesmo dia e foi para o hospital. 11 dias depois, 4 membros de sua família, 3 membros da família **B** e 2 da família **C** adoeceram. A transmissão por gotículas não pode explicar esse caso, pois gotículas maiores ($>5 \mu\text{m}$) permanecem no ar por pouco tempo e tem um deslocamento menor que 1 metro. Já os aerossóis podem percorrer uma distância maior que 1 metro. Lu et al. (2020) concluíram que a transmissão foi induzida devido a ventilação por ar-condicionado e que o fator principal era a direção do escoamento de ar.

Durante estudos realizados, encontrou-se RNA do SARS-CoV-2 em filtro de ar-condicionado dos quartos de pacientes. Eles também observaram que gotículas respiratórias de pessoas infectadas podem ser deslocadas pelo ar, depositando sobre superfícies ou até mesmo em mucosas de pessoas que estão contra a direção do escoamento de ar (MOUCHTOURI *et al.*, 2020).

Assim, dentro das medidas que devem ser tomadas para a diminuição da contaminação está a ventilação dos ambientes internos e a aprimoração dos sistemas de filtração de aerossóis e a desinfecção do ar. O controle de engenharia em edifícios públicos (escolas, bibliotecas, hospitais, lojas, etc.) é uma medida importante para reduzir a probabilidade de transmissão, protegendo os profissionais da saúde, pacientes e o público em geral (MORAWSKA, Lidia *et al.*, 2020).

Para controlar a transmissão de um vírus é importante entender as formas de contágio que podem ocorrer e compreender as rotas de transmissão. E dentro da pandemia causada pelo SARS-CoV-2 não é diferente. Porém, é preciso conhecer melhor a maneira que ocorre a transmissão aérea e a contaminação dos indivíduos (CHIA *et al.*, 2020). Muitas doenças podem ser transmitidas por vias aéreas, como tuberculose, sarampo e varicela. Após a epidemia de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS) em Hong Kong em 2003 o estudo e a ideia de transmissão pelo ar começou a ganhar destaque (LIU *et al.*, 2020).

Para evitar que a contaminação por vírus através do ar, a principal medida é substituir o ar contaminado por ar limpo. A forma mais fácil e eficaz de proporcionar isso é permitir a ventilação natural, ou seja, deixar as janelas e portas abertas sem a presença de barreiras (cortinas, divisórias). Porém, em algumas circunstâncias não é possível que seja dessa forma, por exemplo em hospitais que o paciente precisa de privacidade ou durante a realização de procedimentos médicos (MORAWSKA, Lidia *et al.*, 2020).

Muitos lugares possuem ventilação mecânica, ou seja, fornecidos por sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado. É possível modificar as estratégias de controle desses sistemas para aumentar a ventilação e reduzir, conseqüentemente, os riscos de transmissão aérea entre os ocupantes. Porém não é tão simples fazer essas mudanças e muitos parâmetros devem ser considerados como: taxa de ventilação, temperatura, umidade relativa, distribuição e direção do escoamento de ar (MORAWSKA, Lidia *et al.*, 2020).

Filtros de partículas e equipamentos de desinfecção em correntes de ar recirculados podem ser utilizados para diminuir o risco, porém é importante ser projetados exatamente para controlar riscos de infecções. Normalmente, há filtros para remover as partículas maiores que atrapalham o funcionamento dos sistemas de

ventilação, porém esses filtros não são eficazes para a remoção de partículas pequenas (MORAWSKA, Lidia *et al.*, 2020).

Visto isso, sabe-se que a recirculação do ar não deve ocorrer em ambientes fechados, para evitar a disseminação de partículas carregadas de patógenos. Em ambientes que possuem unidades centrais de tratamento de ar em um prédio é possível evitar a recirculação, fechando os amortecedores de recirculação e abrindo os amortecedores de ar externo. Em ambientes que isso não é possível, deve-se maximizar o nível de ar externo e aplicar filtragem ou irradiação germicida ultravioleta para remover ou desativar os vírus. Em unidades de ar-condicionado divididas não é possível fornecer uma ventilação com ar externo, dessa forma aconselha-se que o sistema seja desligado. Em ambientes que não é possível melhorar a ventilação, é recomendado a adição de purificadores de ar ou dispositivos de desinfecção locais, como ultravioleta germicida (MORAWSKA, Lidia *et al.*, 2020).

Mousavi et al. (2020) realizaram estudos para simular uma visita a um paciente infectado. Foi testado o desempenho de uma antessala temporária com e sem máquinas portáteis de filtração HEPA para conter e remover partículas. Observou-se que com o tempo a eficiência do purificador de ar HEPA diminuiu pois o filtro ficava impregnado de aerossóis, diminuindo a vazão de ar e aumentando a queda de pressão. No entanto, eles concluíram que o desempenho da antessala foi promissor. Em um teste utilizando uma barreira de plástico, com um zíper para que as pessoas pudessem entrar, para fechar a sala, obteve-se uma eficiência de 80% na retenção das partículas. Quando combinado com o purificador de ar HEPA portátil aumentou para mais de 99%.

Em projetos de climatização, um parâmetro importante é a renovação de ar, garantindo a qualidade do ar interno, se fazendo presente em diversas regulamentações, como é normatizado pela NBR 16401-3. Visto que a entrada/renovação do ar é essencial para a manutenção da salubridade de ambientes (CAMPOS; GUEDES, 2020).

Ar-condicionado convencional tem como princípio de funcionamento a recirculação do ar interno, ou seja, o ar do ambiente é aspirado constantemente pela unidade interna (evaporador), resfriado e insuflado de volta ao ambiente. Este mecanismo aumenta o risco de contaminação, uma vez que atuam como espalhadores de contaminantes. Desta forma, todos os sistemas de climatização que

não estejam adequados ao tratamento do ar contaminado devem ser desligados e manter o ambiente naturalmente ventilado (CAMPOS; GUEDES, 2020).

Analisando a atual circunstância dos sistemas de climatização, dentro do novo contexto que estamos vivendo, é importante o estudo de filtração do ar de ambientes internos para tratar o ar contaminado e diminuir a disseminação do vírus. Além disso, o sistema de climatização é muito importante em cidades quentes e/ou úmidas pois desligar esse sistema irá diminuir o conforto térmico dos usuários.

3.2. Equipamentos de Proteção Individual

Os equipamentos de proteção individual (EPI's) são essenciais para proteger os profissionais de saúde que atendem pacientes com COVID-19, sendo eles: máscara facial ou respirador, roupa de proteção, avental, luvas, óculos de proteção, protetor facial (*face shield*), botas (HUANG *et al.*, 2020; LEPELLETIER *et al.*, 2020). A Organização Mundial da Saúde (OMS) elaborou algumas recomendações de quais EPI's devem ser utilizados de acordo com o ambiente que os profissionais estarão, por tipo de pessoa que irão atender e procedimentos que serão realizados.

A OMS elaborou normativos exemplificando quais equipamentos devem se utilizados, quando devem ser trocados, quais os danos o uso prolongado por cada equipamento pode causar. Óculos de segurança, protetor facial e aventais normalmente são utilizados em ambiente hospitalares com maiores riscos de contágio (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020).

Qualquer tipo de Equipamento de Proteção deve ser trocado em caso de respingos de produtos, substâncias infecciosas ou fluidos corporais, em caso de atender paciente sem o vírus depois de atender um paciente com vírus e se os óculos atrapalharem a segurança do profissional da saúde ou a visibilidade para realizar o tratamento do paciente.

Óculos de segurança, máscaras cirúrgicas e do protetor facial pode aumentar o desconforto e danificar o tecido da pele no rosto. Para máscara cirúrgica, além desses problemas, pode provocar reação alérgica/inflamatória na pele do rosto, podendo aumentar a chance de contaminação, pois o profissional pode tocar a máscara. Já o uso prolongado dos aventais tem grande chance de provocar maior contágio entre os pacientes (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020).

A máscara deve ser trocada em caso de ficar molhada, suja ou danificada, se a respiração ficar difícil, se a máscara for exposta a respingos tanto de produto químico, substâncias infecciosas ou fluidos corporais, se a máscara for deslocada do rosto ou se for tocada. Caso for atender um paciente que não tenha o vírus logo depois de ter atendido um paciente positivo, os EPI's devem ser descartados ou trocados (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020).

Os respiradores podem ser utilizados por 6 horas sem ser retirados quando estiver realizando atendimentos a pacientes de COVID-19. O uso prolongado pode aumentar o risco de contaminação, aumentar a chance de tocar no respirador, pode causar dermatite facial, acne induzida e cansaço respiratório. O respirador deve ser trocado nos mesmos casos que a máscara cirúrgica (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020).

Além de especificar quando os equipamentos devem ser retirados, a Organização Mundial de Saúde e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) ressalta que os profissionais de saúde precisam ter treinamento e fazer a retirada de forma correta para evitar que sejam contaminados pelos equipamentos de proteção. Os respiradores devem ser retirados depois de remover todos os EPI's e pouco antes da retirada das luvas (IPPOLITO *et al.*, 2020).

3.2.1. Máscaras

O uso de máscara facial durante uma pandemia envolvendo agente transmissível pelo ar é muito importante, pois impede a inalação de gotículas infecciosas diminuindo a disseminação da doença. Além de impedir a inalação, previne a contaminação do ambiente em que as pessoas se encontram (DAVIES, Anna *et al.*, 2013). Existem diferentes tipos de máscaras faciais e respiradores que oferecem diferentes níveis de proteção (CHUA *et al.*, 2020).

A eficiência de máscaras em geral depende de vários fatores como a qualidade do material, ajuste da máscara no rosto, os componentes presentes na máscara (clipe nasal, tiras ou alças), a capacidade de eficiência de filtragem, a respirabilidade do material e a capacidade de absorver umidade do ar expirado. Depois de utilizar qualquer tipo de máscara, é importante ter cuidado para retirá-las e onde serão descartadas, pois podem ser um foco de transmissão da doença (EN 14683, 2014).

Para que uma máscara seja considerada efetiva ela deve ter uma eficiência de filtração maior que 95%. Essa eficiência depende do material que a máscara é fabricada e do tamanho das partículas de aerossol que o teste é realizado (NEUPANE *et al.*, 2019).

Existem algumas regras importantes que foram propostas a serem seguidas durante as pandemias, como a da COVID-19, como o uso individual e sem o compartilhamento de máscaras. As máscaras cirúrgicas/respiradores devem ser destinadas para os profissionais de saúde, pacientes com COVID-19 e para possíveis fontes de contágio. As máscaras de tecido devem ser higienizadas da forma correta e as descartáveis devem ser eliminadas periodicamente, e além disso, deve haver higienização das mãos com água e sabonete ou preparação alcoólica a 70% (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2020).

Segundo o Conselho Regional de Farmácia do estado de São Paulo, máscaras utilizadas por pessoas doentes em isolamento no domicílio, por quem presta assistência a essas pessoas e por pessoa saudável devem ser descartadas com cuidado. As máscaras devem ser descartadas em sacos de lixo resistentes e descartáveis, que devem ser fechados com um laço ou nó. O saco deve ser colocado dentro de outro saco limpo, resistente e descartável. É importante identificar o saco, para não causar problemas ao trabalhador e nem ao meio ambiente (ABES, 2020).

Segundo a Resolução RDC n.º33 da ANVISA, o resíduo de serviço de saúde deve ter a separação e classificação, que no caso das máscaras vão para a lixeira de resíduo infectado. Depois ocorre o condicionamento que consiste em embalar corretamente, em seguida é feita a identificação e o resíduo é transportado internamente e é armazenado temporariamente. Por fim, ocorre o tratamento que consiste em aplicar o método, técnica ou processo que modifique as características biológicas ou a composição do resíduo, eliminando o risco de contaminação. Realizado o tratamento o resíduo é armazenado externamente até que ocorra a coleta e o transporte externo. O resíduo é disposto no solo que foi previamente preparado para recebê-lo (ANVISA, 2003).

3.2.1.1. Máscaras cirúrgicas e respiradores

Os termos máscaras médicas, máscaras cirúrgicas, máscaras de procedimento, máscaras de isolamento, máscaras resistentes a fluidos e máscaras

faciais que atendem padrões de eficiência de filtração de partículas e bactérias pelas normas ABNT NBR 15052 e ASTM F2100-19 são considerados equivalentes, mas não são certificadas como respiradores (SMITH *et al.*, 2016).

As máscaras cirúrgicas e os respiradores possuem suas classificações e são indicadas para cada situação em que o profissional está exposto (LEPELLETIER *et al.*, 2020). Estas máscaras foram projetadas para proteger o ambiente de trabalho. A maioria das máscaras cirúrgicas possuem três camadas de tecidos (FANGUEIRO *et al.*, 2020):

- A camada exterior é composta de um tecido não-tecido impermeável e responsável pela proteção contra gotículas;
- A camada intermediária é composta por um filtro feito de tecido não-tecido de polipropileno responsável pela filtração;
- A camada interior é composta de um tecido não-tecido comum de polipropileno que absorve umidade do utilizador.

A máscara cirúrgica é um equipamento descartável que tem a capacidade de diminuir a transmissão de agentes infecciosos, gotículas, porém, não tem a capacidade de proteger de agentes infecciosos transmitidos por vias aéreas, partículas inferiores a 5 µm (aerossol) (ANVISA, 2009). As máscaras cirúrgicas são testadas pela Norma Europeia EN 14683, pela Norma Americana ASTM F2100 e pela Norma Brasileira ABNT NBR 15052.

A Norma EN 14683 (2019) classifica três máscaras cirúrgicas a partir do tipo de eficiência, sendo de Tipo I um nível de eficiência de filtração bacteriana superior a 95%, Tipo II deve obter uma eficiência de filtração bacteriana superior a 98% e a Tipo IIR deve ter resistência a respingo/resistência sanguínea sintética. A Norma Americana ASTM F2100 (2019) também classifica as máscaras em três tipos, sendo a de nível 1 é indicado para baixo risco de exposição a fluidos, a nível 2 é indicado para moderado risco e a nível 3 é indicado para elevado risco.

A Norma Brasileira, vigente no início da pandemia, ABNT NBR 15052 (2004) define que a máscara cirúrgica deve ter uma eficiência de filtragem de partículas de Látex igual ou superior a 98% e eficiência de filtragem bacteriana igual ou superior a 95%. Já a Norma atual, ABNT NBR 15052 (2021), classifica as máscaras em quatro níveis (nível 0, 1, 2 e 3) diferindo-as de acordo com a eficiência de filtração, nível

permitido para queda de pressão e exigência de resistência à penetração de sangue sintético.

O respirador conhecido também como peça semifacial filtrante (PFF) é constituído por um material filtrante, tirantes e pode ou não conter uma válvula de exalação (TORLONI; VIEIRA, 2003). O respirador, descartável ou não, impede o utilizador de inalar aerossóis, protegendo assim dos agentes infecciosos transmissíveis por via aérea (ANVISA Nº 04, 2020). A válvula de exalação proporciona maior conforto porque a maior parte do ar expirado sai pela válvula diminuindo a queda de pressão, aumentando a respirabilidade e pode reduzir o embaçamento dos óculos (IPPOLITO *et al.*, 2020; TORLONI; VIEIRA, 2003). O respirador deve cobrir o nariz e a boca e proporcionar vedação adequada sobre a face e para proporcionar melhor vedação ao rosto, alguns modelos possuem uma peça de ajuste nasal permitindo moldar a máscara ao rosto (TORLONI; VIEIRA, 2003).

A Norma Europeia EN 149 classifica os respiradores como PFF1 aqueles que obtêm uma eficiência de filtração de aerossóis igual ou superior a 80%, PFF2 os que possuem uma eficiência de filtração de aerossol igual ou superior a 94% e PFF3 uma eficiência de filtração igual ou superior a 99% (FANGUEIRO *et al.*, 2020; IPPOLITO *et al.*, 2020).

A Norma Brasileira que classifica os respiradores é a ABNT NBR 13698 (2011) sendo correspondente a classificação da Norma Europeia. Dessa forma, os respiradores são classificados como PFF1, PFF2 e PFF3 precisando ter o mesmo nível de eficiência de filtração de aerossol. As PFF2 e PFF3 são equivalentes aos respiradores N95 e N99 respectivamente.

Normas Americanas definem os respiradores como N95 e N99, sendo o número referente a capacidade de eficiência de filtração do respirador e a letra N significa que o respirador não é resistente a óleo. Todos esses respiradores de máscara facial são certificados pela *National Institute of Occupation Safety and Health* (NIOSH) e atendem as recomendações do *Center for Disease Control and Prevention* (CDC) (LEE; GRINSHPUN; REPONEN, 2008).

3.2.1.2. Máscaras caseiras

As máscaras de tecidos, conhecidas como máscaras caseiras, começaram a ser utilizadas em larga escala pela população, devido à pandemia. Essas máscaras

são produzidas a partir de tecidos comuns, normalmente tendo mais de uma camada de tecido para aumentar a eficiência de filtração. Quando essas camadas são compostas de tecidos diferentes, estas máscaras são chamadas de híbridas. Visto a crescente utilização, estudos passaram a ser realizados para entender a eficiência de filtração para aerossóis. Dessa forma, é possível analisar quais tecidos possuem melhor resultado e qual a melhor combinação de tecidos (KONDA *et al.*, 2020).

Aydin *et al.* (2020) analisaram tecidos com composições diferentes e a variação de camadas, testando máscaras fabricadas com uma, duas e até três camadas. Eles utilizaram máscaras médicas e tecidos 100% algodão (variando como camisa usada - tricotada, camiseta nova - tricotada, pano de colcha nova - tecido), 75% algodão e 25% poliéster (camiseta usada - tricotada) tecido com 70% algodão e 30% poliéster (camiseta usada - tecido), 60% algodão e 40% poliéster (camiseta nova - tricotada), 35% algodão e 65% poliéster (pano de colcha nova - tecido), 100% poliéster (lençol novo - tecido), 80% poliéster e 20% poliamida (pano de prato novo) e dois tecidos de seda com porosidades diferentes (camisa usada). Realizaram testes com duas e três camadas 100% algodão (camiseta nova) e 60% algodão e 40% poliéster (camiseta nova).

Aydin *et al.* (2020) afirmam que a respirabilidade depende da porosidade do material. Observaram que com o aumento das camadas houve também um aumento da eficiência de bloqueio, porém a respirabilidade do material foi diminuindo. Mas vale ressaltar que o material testado com duas camadas obteve uma filtração de partículas comparável à das máscaras cirúrgicas e com uma respirabilidade semelhante ou superior. Porém, é importante lembrar que os materiais são diferentes.

Konda *et al.* (2020) realizaram testes em diferentes tipos de algodão (80 e 600 fios por polegada), colcha de algodão, flanela (65% algodão e 35% poliéster), seda sintética (100% poliéster), seda natural, Spandex (52% náilon, 39% poliéster, e 9% Spandex), cetim (97% poliéster e 3% Spandex), chiffon (90% poliéster e 10% Spandex) e diferentes misturas de poliéster e poliéster-algodão. Eles concluíram que quanto maior a quantidade de fios do material, maior a eficiência de filtração do material. Também testaram alguns materiais com alguma lacuna e perceberam que se não houver o ajuste certo e o material estiver com lacunas podem ocorrer vazamentos ao redor e diminuir a eficiência do material em aproximadamente 50% ou

mais. Dessa forma, é importante verificar como o ajuste e o design das máscaras são importantes.

Outro estudo importante foi realizado por Neupane et al. (2019), que exploraram o efeito da lavagem e secagem das máscaras na eficiência de filtração das partículas. Durante o estudo, eles realizaram quatro ciclos de lavagem e mediram a eficiência a cada ciclo e observaram que a eficiência foi diminuindo a cada lavagem, tendo uma diminuição de 20% na eficiência após os 4 ciclos. Observaram por análise de imagens que os poros foram aumentando e houve mudança do formato dos poros.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas expediu uma guia de requisitos básicos para métodos de ensaio, fabricação e uso das máscaras de proteção respiratória de uso não profissional. Dentre esses requisitos estão a inspeção que deve ser realizada, as dimensões que devem ter as máscaras, a forma como devem ser embaladas, materiais que podem ser utilizados, forma que devem ser limpas e secas, os testes que devem ser realizados (ABNT PR 1002, 2020).

O procedimento de fabricação da máscara deve seguir os seguintes passos, segundo a ABNT PR 1002 (2020):

- Limpar a superfície de trabalho com preparação alcoólica a 70% ou hipoclorito de sódio a 1%;
- Fazer um molde em papel de forma que o tamanho cubra a boca e o nariz;
- O design da máscara deve ser confortável e eficiente, tendo um bom ajuste ao rosto;
- Recomenda-se que o produto manufaturado tenha três camadas, sendo elas impermeável na parte frontal, um tecido respirável no meio e uma de tecido de algodão na parte que entrará em contato com o rosto;
- As peças podem ser montadas por soldagem ultrassônica ou costura;
- Após a confecção é importante que seja lavada com água e sabão e passada com ferro quente.

É importante ressaltar que os fabricantes das máscaras caseiras comercializadas devem atender aos requisitos impostos pela ABNT PR 1002 (2020), garantindo qualidade do produto, realizar teste de eficiência de filtração (deve obter 70% de eficiência e os ensaios devem ser de acordo com a ABNT NBR 13698: 2011),

os materiais em contato com a pele não podem apresentar riscos de irritação (resistência inspiradora de 2,4 mbar e resistência à expiração de 3 mbar).

Os tecidos indicados pela ABNT PR 1002 (2020) são:

- 100% algodão – tendo características finais quanto à gramatura:
 - 90 a 110 (lençóis de meia malha);
 - 120 a 130 (fabricação de forros para lingerie);
 - 160 a 210 (camisetas).
- Mistura – composição:
 - 90% algodão com 10% de elastano;
 - 92% algodão com 8% de elastano;
 - 96% algodão com 4% elastano.

3.2.2. Normas de caracterizações para máscaras cirúrgicas

Há normas que abrangem os Equipamentos de Proteção Individual (EPI), normas estas que podem ser Americanas, Europeias e Brasileiras por exemplo. Destas, a muitas encontrada diz respeito a máscaras cirúrgicas ou respiradores.

3.2.2.1. ABNT NBR 15052 (2004)

A ABNT NBR 15052 era a Norma Brasileira que tinha como objetivo estabelecer os requisitos que a máscara cirúrgica devia obter para uso na área de saúde. Estes requisitos estão relacionados a eficiência de filtração e o enquadramento na produção da máscara. A máscara deve ter um clipe nasal que deve ser de material maleável para que se ajuste adequadamente ao rosto, deve conter um elemento filtrante, tiras ou elásticos para permitir a fixação ao rosto.

Desde o início da pandemia em março de 2020, começaram os estudos sobre as normas vigentes, a fim de observar se os testes aplicados eram adequados. Dessa forma, a Norma Brasileira que estava vigente era a ABNT NBR 15052 (2004) e foi atualizada em agosto de 2021 para a ABNT NBR 15052 (2021) e será descrita no próximo item.

Segundo a ABNT NBR 15052 (2004), as máscaras deveriam passar por testes para avaliar eficiência de filtração de partículas (EFP), eficiência de filtração bacteriana (EFP), pressão diferencial (respirabilidade), repelência a fluidos e de tração das amarras dos fixadores. Os testes precisavam ser realizados com três máscaras

de lotes diferentes (ABNT NBR 15052, 2004). A Tabela 1 mostra os testes e os resultados que eram determinados pela norma ABNT NBR 15052 (2004).

Tabela 1 - Testes definidos pela norma ABNT NBR 15052 (2004) e os resultados obtidos pela máscara para que seja aprovada.

Testes	Resultado esperado
Eficiência de filtração de partículas	≥98%
Eficiência de filtração bacteriana	≥95%
Pressão diferencial (ΔP) (respirabilidade)	≤4 mmH ₂ O
Tração das amarras e dos fixadores	≥11,3N
Irritabilidade dérmica	Não irritante

Fonte: (ABNT NBR 15052, 2004)

O teste para determinar a eficiência de filtração de aerossóis utiliza-se de partículas de Látex ($0,105 \mu\text{m} \pm 0,005 \mu\text{m}$ de diâmetro) que são nebulizadas, secas e transferidas para a máscara cirúrgica com uma vazão de $0,028 \text{ m}^3/\text{min}$. A contagem das partículas é realizada por um contador e ela deve ter três repetições por máscara (ABNT NBR 15052, 2004). A norma brasileira de 2004 não especificava a área de filtração que os testes deveriam ser realizados o que influencia diretamente no resultado do teste, pois variando a área, varia a velocidade das partículas em que o teste está sendo realizado variando significativamente a eficiência de filtração de partículas da máscara.

A queda de pressão é determinada a partir da queda de pressão antes e depois da máscara. O procedimento é realizado utilizando uma bomba elétrica a vácuo com uma vazão de ar de 8 L/min. O procedimento é repetido em cinco pontos da máscara para determinar a resistência média da máscara (ABNT NBR 15052, 2004).

Além disso, durante a descrição do teste, eles citam que a máscara deve ser inserida no suporte de maneira que as dobras (dobradiças) estejam direcionadas para baixo. Estas dobras são as que são formadas pela presença das pregas nas laterais. Porém, é algo questionável já que não se utiliza máscaras cirúrgicas sem abrir estas dobras.

Com relação às características físicas da máscara e seus componentes, a norma requer que as tiras sejam fixadas nas margens da máscara, sem costura e com comprimento de 800 mm. As alças devem ser fixadas na margem, sem costura e com no mínimo de 100 mm de comprimento. E claro, a máscara deve cobrir o nariz e a boca tendo um ajuste facial apropriado (ABNT NBR 15052, 2004).

3.2.2.2. ABNT NBR 15052 (2021)

A Norma Brasileira para máscara cirúrgica foi atualizada no final de agosto de 2021. Essa atualização trouxe mudanças principalmente na realização de testes de eficiência de filtração de partículas, em que ela sugere que se utilize a Norma Americana ASTM F2299 (2017).

O teste de queda de pressão manteve-se igual ao teste da norma anterior, no entanto foi adicionando a área que o teste de deve ser realizado. A norma atual estabelece que o corpo de prova deve ser colocado sobre o orifício com 25 ± 1 mm de diâmetro. Esta informação adicionada é muito importante porque dá uniformidade na realização do teste. Na norma anterior só era estabelecido a vazão de ar que o teste deveria ser realizado, sem nenhuma menção da área do corpo de prova. Assim, com esta informação a execução do teste fica mais bem padronizado, tornando-o mais confiável, porque variando a área do corpo de prova, a velocidade superficial muda, alterando o resultado do teste, uma vez que quanto maior a área, menor será a velocidade superficial e, conseqüentemente, menor será a queda de pressão e vice versa, o que pode dar margem a manipulação dos resultados.

A norma publicada em 2021 passou a classificar as máscaras cirúrgicas em níveis, algo que não era realizado anteriormente. Os testes realizados e os padrões impostos pela norma estão descritos na Tabela 2 (ABNT NBR 15052, 2021).

Tabela 2 - Requisito de material de máscara facial médica por nível de desempenho segundo a ABNT NBR 15052 (2021).

Ensaio	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Eficiência de filtração bacteriana (%)	≥ 95	≥ 95	≥ 98	≥ 98
Pressão diferencial (Pa/cm ²)	< 49,03	< 49,03	< 58,84	< 58,84
Eficiência de filtração de partículas submicrônicas a 0,1 μm (%)	≥ 95	≥ 95	≥ 98	≥ 98
Resistência a fluidos, pressão mínima em pascal, para resultado de passagem (kPa)	Não requerido	10,7	16,0	21,3
Propagação de chama	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1

Fonte: (ABNT NBR 15052, 2021)

A máscara de nível 0 é avaliada pela eficiência de filtração bacteriana e de partículas submicrônicas, pressão diferencial e propagação de chama. Já as

máscaras de nível 1, 2 e 3 devem ser avaliadas nos mesmos testes da máscara de nível 0 e deve-se fazer testes de resistência à penetração por sangue sintético na pressão mínima. O que difere os níveis das máscaras são os valores permitidos para cada teste que estão descritos na Tabela 2.

3.2.2.3. Normas Americanas

A ASTM F2100 (2019) é a Norma Americana que consiste em especificar o desempenho dos materiais utilizados nas máscaras. Dessa forma, esta Norma fornece classificação de desempenho para uma variedade de materiais que são utilizados na construção da máscara.

Tabela 3 - Requisito de material de máscara facial médica por nível de desempenho (ASTM F2100, 2019).

Testes	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Eficiência de filtragem bacteriana (%)	≥95	≥98	≥98
Pressão diferencial (mm H ₂ O/cm ²)	<6	<6	<6
Eficiência de filtragem de partículas submicron a 0,1 micron (%)	≥95	≥98	≥98
Resistência à penetração por sangue sintético, pressão mínima para o resultado de passagem (mmHg)	80	120	160
Propagação da chama	Classe 1	Classe 1	Classe 1

Fonte: (ASTM F2100, 2019)

Os materiais para máscaras cirúrgicas que estão dentro desta Norma, são classificados com base no desempenho em vários testes, podendo ter Nível 1, Nível 2 e Nível 3. Os testes realizados e os resultados estão descritos na Tabela 3 (ASTM F2100, 2019).

A ASTM F2101 (2019) é a Norma Americana que descreve o método para medir a eficiência de filtração de bactérias em materiais de máscaras cirúrgicas. O método utilizado nela pode determinar até 99,9% de eficiência. O ensaio consiste em colocar a máscara facial presa entre um impactador de seis estágios e uma câmara de aerossol. A preparação bacteriana é realizada a partir da inoculação de um volume apropriado de caldo de soja tríptico e é incubado a 37±2 °C por 24±2 h. A cultura é diluída em água peptonada para obter uma concentração de 5x10⁵ UFC/mL (ASTM F2101, 2019).

O aerossol é produzido a partir de uma suspensão de cultura de *Staphylococcus aureus*. O aerossol é aspirado através da máscara usando vácuo a uma vazão de 28,3 L/min. Os seis estágios são feitos por placas de ágar para coletar as gotículas de aerossol que penetram o material da máscara. As placas são incubadas por 48 h e depois é realizada a contagem do quanto passou de aerossol. Deve-se repetir o procedimento para as outras amostras. Em seguida deve-se fazer o controle negativo que consiste em coletar uma amostra durante 2 min sem a presença de bactérias (ASTM F2101, 2019). Este teste não será realizado nesta dissertação, que teve como objetivo focar nos testes de eficiência de filtração e na queda de pressão das máscaras cirúrgicas.

A ASTM F2299/F2299M-03 (2017) é a Norma Americana que tem como função definir o método de testes para medir a eficiência de filtração de partículas nos materiais de máscaras cirúrgicas usando aerossóis na faixa de tamanho de 0,1 μm a 5,0 μm , com velocidades entre 0,5 e 25 cm/s, velocidades estas que não representam atividades respiratórias humanas como espirrar, tossir.

O ar filtrado e seco passa pelo atomizador para produzir o aerossol de esferas de látex suspensas. O aerossol passa por um neutralizador, é misturado e diluído com ar pré-condicionado, produzindo um ambiente estável. O ar de entrada deve ser mantido limpo para conseguir testar na faixa de 0,1 μm a 5,0 μm . Para isso, é necessário que o aerossol passe por um atomizador e em seguida por um secador de sílica gel e por uma peneira molecular. Em seguida o ar é fornecido para a câmara de teste do gerador de aerossóis com pressão de 7 kPa (ASTM F2299, 2017).

É importante manter o duto principal do teste e o suporte de amostra do meio na vertical para minimizar a sedimentação e assim fornecer um aerossol estável. O gerador de aerossol deve ser capaz de gerar 10^7 até 10^8 partículas/ m^3 e ser capaz de sustentar uma saída estabilizada por mais de 1 h. O neutralizador de aerossol deve ser usado na entrada do teste do sistema, garantindo a estabilidade de carga (ASTM F2299, 2017).

A vazão de ar principal, de ar de diluição e de aerossol do gerador devem ser definidos para testar as condições. A relação do ar de diluição e geração de aerossol é de 2:1. O fluxo de ar deve ser purgado por 10 a 15 min, o contador de partículas ópticas deve ser aquecido por 15 a 30 minutos (ASTM F2299, 2017).

Durante o ensaio é importante monitorar a vazão de ar do contador de partículas ópticas e ajustar para o valor desejado. É importante registrar a temperatura, umidade relativa do fluxo de ar do teste. O tempo de amostragem é de 1 minuto. Deve-se monitorar as contagens para que o aparelho tenha 100±1% de penetração média com um coeficiente de variação de 3%. A eficiência deve ser calculada a partir da Equação 1 (ASTM F2299, 2017):

$$Eficiência = 1 - penetração = 1 - \frac{(contagem\ média\ jusante)}{(contagem\ média\ montante)} \quad (1)$$

A norma sugere que os testes sejam realizados com a vazão na linha de teste ajustada, para que haja o escoamento apenas em regime laminar, considerando que o número de Reynolds deve ser menor que 1000 (ASTM F2299, 2017).

3.2.2.4. EN 14683 (2019)

A EN 14683 (2019) é a Norma Europeia que descreve a construção, os requisitos de desempenho e os métodos de testes para máscaras faciais médicas. As máscaras especificadas nesta Norma são classificadas em Tipo I e Tipo II dependendo da eficiência de filtração bacteriana, e dividindo a Tipo II de acordo com a resistência a respingos (Tipo IIR).

Segundo esta norma, a máscara cirúrgica deve conter uma camada de filtro entre as camadas de tecido, e a máscara deve ser encaixada sobre o nariz, boca e queixo. Os testes devem ser realizados em pelo menos cinco máscaras, podendo ser superior para permitir um Nível de Qualidade Aceitável (NQA) de 4%. Os testes realizados e os resultados estão descritos na Tabela 4 (EN 14683, 2019).

Tabela 4 - Resultados esperados pelas máscaras segundo a norma EN 14683 (2019).

Testes	Tipo I	Tipo II	Tipo IIR
Eficiência de filtragem bacteriana, %	≥95%	≥98%	≥98%
Pressão diferencial, Pa/cm ²	<40	<40	<60
Resistência a respingo (kPa)	Não requerido	Não requerido	≥16
Limpeza microbriana (cfu/g)	≤30	≤30	≤30

Fonte: (EN 14683, 2019)

As amostras que são utilizadas durante o teste devem ser cortadas de máscaras completas ou pode também utilizar a máscara completa desde que se retirem as extremidades fazendo com que a máscara fique plana e sem dobras, permitindo que todas as camadas sejam incorporadas. As amostras devem ser

condicionada na temperatura de $(21 \pm 5) ^\circ\text{C}$ com a umidade relativa de $(85 \pm 5) \%$ durante 4 horas (EN 14683, 2019).

A preparação do desafio bacteriano é realizada da seguinte forma: o *Staphylococcus aureus* é inoculado em 30 mL de caldo de soja tríptico e incubado com agitação leve com a temperatura de $(37 \pm 2) ^\circ\text{C}$ durante (24 ± 2) h. A cultura é diluída em água de peptonada para obter uma concentração de 5×10^5 cfu/mL. Vale ressaltar que a concentração do desafio bacteriano deve ser mantido em $1,7 \times 10^3$ a $3,0 \times 10^3$ UFC e o tamanho médio das partículas deve ser $3 \mu\text{m}$ (EN 14683, 2019).

O método para determinação *in vitro* da eficiência da filtração bacteriana utiliza o *Staphylococcus aureus* para a realização do teste. O princípio do teste consiste em prender uma amostra da máscara entre um impactador em cascata de seis estágios e uma câmara de aerossol. O aerossol é gerado a partir de *Staphylococcus aureus* que é introduzido na câmara de aerossol e aspirado através do material da máscara e do impactador sob vácuo. A vazão do aerossol passando pela máscara é de 28,3 L/min e o tempo de teste é de 2 minutos. (EN 14683, 2019).

O teste de pressão diferencial (respirabilidade) consiste em obter 5 diferentes áreas com diâmetro de 2,5 cm de cada amostra. As amostras devem ser condicionadas a $(21 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e $(85 \pm 5) \%$ de umidade relativa durante 4 horas. A amostra é colocada no orifício e fixada, evitando vazamentos de ar. A bomba deve iniciar com uma vazão de ar de 8 L/min, e a pressão diferencial pode ser lida no manômetro de pressão diferencial (EN 14683, 2019). Vale ressaltar que a descrição do teste se assemelha com o teste descrito pela norma brasileira ABNT NBR 15052 (2021).

Como já mencionado anteriormente, estes testes de eficiência de filtração bacteriana não foram realizados nesta dissertação, eles foram apenas relatados para deixar registrado os outros testes que são efetuados para a caracterização das máscaras cirúrgicas.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos resultados que são pedidos para máscaras cirúrgicas pelas normas brasileiras, americanas e europeias.

Tabela 5 - Testes propostos pelas normas de máscara cirúrgica e resultados esperados.

Testes	ABNT NBR 15052 (2004)	ABNT NBR 15052 (2021)	ASTM F2100 (2019)	EN 14683 (2019)
Eficiência de filtração de partículas	≥98%	Nível 0 e 1: ≥95% Nível 2 e 3: ≥98%	Nível 1: ≥95% Nível 2: ≥98% Nível 3: ≥98%	-
Eficiência de filtração bacteriana	≥95%	Nível 0 e 1: ≥95% Nível 2 e 3: ≥98%	Nível 1: ≥95% Nível 2: ≥98% Nível 3: ≥98%	Tipo I: ≥95% Tipo II: ≥98% Tipo IIR: ≥98%
Pressão diferencial (Δp) (respirabilidade)	≤4 mmH ₂ O	Nível 0 e 1: <49,03 Pa/cm ² Nível 2 e 3: <58,84 Pa/cm ²	Nível 1: <5 mm H ₂ O/cm ² Nível 2: <6 mm H ₂ O/cm ² Nível 3: <6 mm H ₂ O/cm ²	Tipo I: <40 Pa/cm ² Tipo II: <40 Pa/cm ² Tipo IIR: <60 Pa/cm ²

3.2.3. Norma de caracterização para PFF

Peça semifacial filtrante (PFF) é constituída de material filtrante que cobre o nariz, boca e o queixo (ABNT NBR 13698, 2011; TORLONI; VIEIRA, 2003) com vedação adequada para não permitir vazamento entre a máscara e o rosto. O material filtrante é eficiente para proteger contra contaminantes atmosféricos, agentes biológicos em forma de aerossóis. As PFF's também protegem contra gotículas e algumas PFF's são resistentes à projeção de fluidos corpóreos (ANVISA, 2009).

A ABNT NBR 13698 (2011) tem como função especificar os requisitos para as peças semifaciais filtrantes (respiradores) utilizadas como equipamentos de proteção respiratória do tipo purificador de ar não motorizado.

Peça semifacial filtrante é definida como material filtrante que cobre o nariz, boca e o queixo podendo conter válvulas de inalação e/ou exalação. Elas podem ser classificadas em PFF1, PFF2 E PFF3 a partir da capacidade de reter partículas sólidas e líquidas à base de água ou sólidas e líquidas à base de óleo ou outro líquido (ABNT NBR 13698, 2011).

As PFF's devem passar por testes como condicionamento de vibração, condicionamento térmico, condicionamento de simulação de uso, medição da resistência à inalação, medição da resistência à exalação, ensaio de penetração através do filtro, válvula de exalação e conteúdo de CO₂. Os resultados esperados em cada teste estão apresentados na Tabela 6 (ABNT NBR 13698, 2011).

O ensaio de penetração de aerossol com cloreto de sódio ocorre com o aerossol passando por toda a superfície e todos os componentes devem ser expostos. A vazão deve ser de 95 L/min e medir a concentração do aerossol antes e depois dela. Deve-se monitorar a cada 5 minutos, até que a PFF seja exposta a 150 mg de aerossol. Vale ressaltar que essa norma é específica para peça semifacial filtrante (PFF) (ABNT NBR 13698, 2011).

O ensaio de penetração com óleo de parafina ou dioctil ftalato (DOP) ocorre através da geração de aerossol utilizando um nebulizador. A concentração antes e depois da máscara é medida por fotometria de espalhamento de luz. Utiliza-se uma vazão de 95 L/min devendo monitorar a penetração do aerossol a cada 5 minutos, até que a PFF seja exposta a 150 mg de aerossol (ABNT NBR 13698, 2011).

A resistência à respiração imposta pelas PFF com válvula ou sem válvula devem ser a mais baixa possível. Para medir a resistência à inalação o equipamento deve ter um fluxo de ar contínuo com duas vazões sendo de 30 L/min e 95 L/min à temperatura ambiente. O valor é medido no ensaio menos o valor da resistência do suporte. Já para medir a resistência a exalação pode ser pelo mesmo método descrito para a inalação, porém com uma vazão de 160 L/min., mas também pode ser medida através de uma máquina simuladora, dessa forma a máquina deve ser programada para 25 ciclos/min e 2 L/bombeada. A máscara deve estar presa firmemente na cabeça do manequim e a cabeça deve estar em cinco posições: olhando diretamente para frente, verticalmente para cima, verticalmente para baixo, inclinando para o lado esquerdo e inclinando para o lado direito (ABNT NBR 13698, 2011).

Tabela 6 - Resultados esperados pelos respiradores segundo a norma ABNT NBR 13698 (2011).

			Classe		
			PFF1	PFF2	PFF3
Máxima resistência permitida (Pa)	Inalação	Vazão de ar contínuo de 30 L/min	60	70	100
		Vazão de ar contínuo de 95 L/min	210	240	300
	Exalação	Vazão de ar contínuo de 160 L/min	300	300	300

Penetração máxima do aerossol de ensaio (%)	Ensaio com cloreto de sódio com vazão contínuo de ar de 95 L/min	20	6	1
	Ensaio com óleo parafina ou DOP com vazão contínuo de ar de 95 L/min	20	6	1
Resistência à vibração		Não pode apresentar defeitos mecânicos	Não pode apresentar defeitos mecânicos	Não pode apresentar defeitos mecânicos
Resistência à temperatura		Não pode colapsar	Não pode colapsar	Não pode colapsar
Simulação de uso		Não pode colapsar	Não pode colapsar	Não pode colapsar
Conteúdo de CO ₂ no ar inalado		≤1%	≤1%	≤1%
Inflamabilidade		Não inflamável	Não inflamável	Não inflamável

Fonte: (ABNT NBR 13698, 2011).

3.3. Filtração

A filtração de ar apesar de ser uma das operações unitárias mais antigas empregada na separação gás-sólido (DONOVAN, 1985 *apud* BORTOLASSI, 2019), ela continua sendo uma das mais utilizadas, devido a sua alta eficiência para as mais diversas aplicações e condições operacionais (HINDS, 1999 *apud* STEFFENS, 2007).

A filtração de gases consiste na passagem do gás contendo material particulado através do meio filtrante poroso que retém as partículas na superfície das fibras, permitindo a passagem do fluido limpo. A deposição das partículas no meio filtrante ocorre a partir do contato partícula e fibra e é importante que exista uma aderência entre eles (DONOVAN, 1985 *apud* STEFFENS, 2007).

Visto que as máscaras são utilizadas no intuito de filtrar o ar e permitir uma proteção contra materiais particulados que fazem mal ao sistema respiratório humano, é importante entender como a filtração ocorre e os seus mecanismos de coleta. Dessa forma é possível melhorar a eficiência das máscaras.

3.3.1. Mecanismos de coleta

A filtração de particulado está relacionado há vários conceitos que são muito importante e possuem mecanismos que contribuem para que as partículas sejam retidas. Sabe-se que a distância entre as fibras é grande quando comparada com o diâmetro das partículas que conseguem capturar. A alta porosidade do filtro é importante para que tenha baixa resistência (menor queda de pressão) à passagem do ar. A retenção das partículas na superfície do meio filtrante é provocada pelas forças de Van der Waals, elétricas ou de tensão superficial, sendo difícil removê-las da fibra (TORLONI; VIEIRA, 2003).

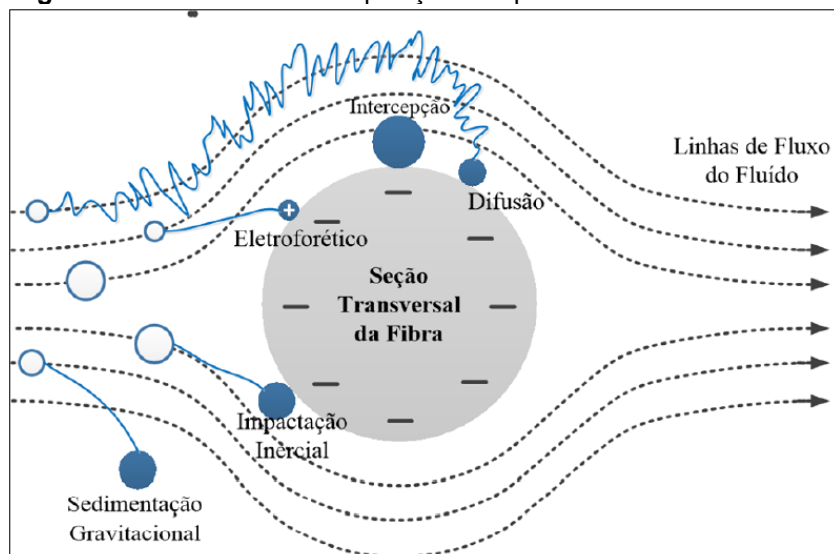
A coleta de partículas em um meio filtrante possui três estágios sendo eles: a coleta da partícula pela superfície, retenção da partícula coletada e o efeito que essa partícula retida causa sobre a próxima partícula a ser coletada. Na filtração, vários mecanismos agem para que ocorra o contato entre as partículas e o meio filtrante (GRAEF et al., 1995 *apud* SILVA, 2008). Assim, a captura da partícula ocorre devido à interação entre as fibras do meio filtrante e o material particulado, a partir dos mecanismos coleta, os principais são: efeito de interceptação direta, impactação inercial, difusão Browniana, efeito eletroforético e sedimentação gravitacional (KONDA *et al.*, 2020). Sendo a eficiência de um filtro medida pela soma da eficiência desses cinco mecanismos, como é representado na Equação 2 (HINDS, 1998; MATESON e ORR, 1987 *apud* CIRQUEIRA, 2017).

$$\eta_T = \eta_{ID} + \eta_{II} + \eta_{DB} + \eta_E + \eta_{SG} \quad (2)$$

sendo η_T a eficiência total, η_{ID} a eficiência da interceptação direta, η_{II} a eficiência da impactação inercial, η_{DB} a eficiência da difusão Browniana, η_E a eficiência do efeito eletroforético e η_{SG} a eficiência da sedimentação gravitacional.

Esses mecanismos estão representados na Figura 1 para uma melhor visualização.

Figura 1 - Mecanismos de deposição das partículas no meio filtrante.



(Fonte: CIRQUEIRA, 2017)

3.3.1.1. Efeito de interceptação direta

A coleta por este mecanismo depende da propriedade do transporte da partícula no fluido e da razão entre o diâmetro da partícula e o diâmetro do coletor, pois a captura acontece quando a partícula segue as linhas de corrente do gás e é capturada quando o seu centro passa pela superfície da fibra a uma distância menor ou igual ao seu raio. Dessa forma, este mecanismo é mais eficiente para partículas grandes e um pouco abaixo do diâmetro do coletor (COURY, 1983, HINDS, 1998 *apud* SILVA, 2008).

Este mecanismo tem como característica não ocorrer desvio das partículas do fluxo da circulação (COURY, 1983, HINDS, 1998 *apud* CIRQUEIRA, 2017). As fibras do material filtrante são dispostas de forma irregular, a parte central das partículas finas forma um fluxo de ar na fibra formando uma linha corrente, que é chamada de limite da trajetória, capaz de reter as partículas distantes. Isso significa que as partículas do aerossol seguem as linhas de corrente do escoamento do gás e não se desviam da trajetória destas linhas. Já a filtração das partículas finas, a adesão partícula-fibra ocorre devido à força de van der Waals, através apenas do contato das partículas com o material filtrante (fibras). A eficiência de filtração aumenta com o aumento do diâmetro das partículas para a faixa de tamanho de 0,1 a 1 μm (ZHU *et al.*, 2017).

3.3.1.2. Impactação inercial

O mecanismo inercial resulta da inércia da partícula que é carregada pela corrente gasosa. Ou seja, a partícula segue a linha da corrente do gás, entretanto se a partícula for muito leve, ela pode acompanhar a linha e desviar do meio filtrante, passando entre as fibras. Porém a capacidade de acompanhar a linha de corrente do gás diminui com o aumento da massa da partícula, dessa forma a partícula colide com a fibra ficando retida (INOCENTINNI, 1997, HIND, 1998 *apud* SILVA, 2008).

Portanto, essa deposição ocorre devido à inércia das partículas presentes no fluido que deve ser filtrado. As partículas são projetadas de suas linhas originais e se chocam ao corpo coletor (DULLIEN, 1989 *apud* CIRQUEIRA, 2017). Devido à disposição das fibras, a corrente de ar é tortuosa. Quando o fluxo de ar gira, as partículas presentes no ar são separadas das linhas de corrente do ar pela ação inercial, colidindo e se depositando no material filtrante. O efeito inercial das partículas entre 0,3 a 1 μm podem promover um aumento da eficiência de coleta, que pode ser ainda maior para velocidades de filtração maiores (ZHU *et al.*, 2017).

3.3.1.3. Difusão Browniana

Este mecanismo é resultado do movimento aleatório Browniano das partículas, não permitindo que sigam perfeitamente as linhas de correntes, tendo, então, um movimento em várias direções (aleatório). Dessa forma, aumenta a probabilidade das partículas se chocarem com as fibras do meio filtrante. A eficiência de filtração está relacionada com a velocidade do gás, obtendo uma maior eficiência para uma menor velocidade do gás (CURY 1983 *apud* TANABE, 2011).

As partículas submicrométricas e/ou em baixa velocidade de filtração, por serem muito pequenas e muito leves, são influenciadas pelas moléculas de gás que são bombardeadas ao redor das partículas, não conseguem seguir a linha de corrente do ar (HINDS 1998 *apud* SILVA, 2008). Neste caso, o movimento aleatório Browniano faz com que as partículas do aerossol se desviem da linha de corrente do escoamento de ar e sejam depositadas nas fibras do meio filtrante. Para partículas menores que 0,1 μm , o movimento aleatório das partículas aumenta e a eficiência de coleta também aumenta (DAVIES, C N, 1973; ZHU *et al.*, 2017).

3.3.1.4. Efeito eletrostático

As forças eletrostáticas podem ter uma influência muito grande durante a filtração, aumentando a eficiência de coleta das partículas. A atração elétrica entre a partícula e a fibra coletora ocorre pela presença de cargas na partícula ou pode ser induzida por um campo elétrico (COURY, 1983 *apud* SILVA, 2008). Esse mecanismo ocorre devido à ação das forças eletrostáticas nas fibras dos filtros formando um campo elétrico e aumentando a eficiência de coleta (HINDS, 1998 *apud* CIRQUEIRA, 2017). As forças eletrostáticas contribuem com a eficiência na coleta das partículas.

Se a partícula, a fibra do meio filtrante ou ambos forem carregados, isso mudará a direção do escoamento das partículas comparado com a linha de corrente de ar, dessa forma facilita a atração entre as partículas e o meio filtrante, aumentando a eficiência de coleta. A atração eletrostática é utilizada nos meios filtrantes, para aumentar a eficiência da coleta, visto que essa atração possibilita uma melhor adesão das partículas ao meio filtrante (ZHU *et al.*, 2017).

3.3.1.5. Mecanismo gravitacional

A gravidade provoca um desvio na trajetória da partícula favorecendo o contato com o coletor. Este mecanismo possui um melhor resultado para o gás escoando em baixa velocidade e para partículas maiores. Além disso, ele depende da direção do fluxo, apresentando uma melhor eficiência para fluxos que ocorrem de cima para baixo (COURY, 1983 *apud* SILVA, 2008).

O mecanismo gravitacional é decorrente da atuação da gravidade sobre a partícula, tendo um desvio da sua trajetória normal. Logo, a eficiência depende da direção do escoamento do gás (HINDS, 1998 *apud* CIRQUEIRA, 2017). Esse mecanismo é o menos importante, já que a força gravitacional exerce uma influência bem menor em comparação com a dos outros mecanismos para as partículas maiores que 0,5 μm , podendo ser ignorado no cálculo da eficiência de coleta (ZHU *et al.*, 2017; COURY, 1983 *apud* TANABE, 2011).

3.3.2. Permeabilidade

A permeabilidade é um parâmetro importante que indica a facilidade que o fluido tem de atravessar o meio filtrante. Este parâmetro leva em consideração a interação entre o fluido e o meio filtrante, sendo assim, as características dos dois são

importantes (BARROS, 2014). Em alguns processos a baixa permeabilidade pode ser ruim, pois isso implica em uma baixa taxa de filtração. Em contrapartida há processos em que é importante um material com baixa permeabilidade para prevenir a penetração de agentes indesejáveis (TANABE, 2011).

A interação entre o meio filtrante e o fluido causa uma transformação na energia do sistema sendo uma complexa interação. A permeabilidade é determinada através das características dos dois, sendo então uma propriedade tanto do fluido quanto do meio filtrante (INNOCENTINI, et. al., 1999 *apud* TANABE, 2011).

O tamanho dos poros do meio filtrante é um parâmetro importante para determinar a permeabilidade. A constante de permeabilidade diminui com a diminuição do diâmetro de poros (SALVINI, INNOCENTINI, & PANDOLFELLI, 2000).

Há várias correlações na literatura relacionando as propriedades para definir a permeabilidade do meio filtrante. A equação de Forchheimer (Equação 3) é um exemplo e pode ser expressa como:

$$-\frac{dP}{dx} = \frac{\mu}{k_1} v_s + \frac{\rho}{k_2} v_s^2 \quad (3)$$

sendo $\frac{-dP}{dx}$ gradiente de pressão ao longo do escoamento x ; μ é a viscosidade do fluido e ρ a densidade absoluta do fluido; v_s é a velocidade superficial que é definida pela vazão volumétrica do fluido (Q) e pela área da fase exposta ao escoamento (A). k_1 e k_2 são os coeficientes de permeabilidade Darciana e não Darciana estabelecendo dependência linear entre a queda de pressão e velocidade de fluido como na lei de Darcy (INNOCENTINI et al., 2005 *apud* TANABE, 2011).

A velocidade superficial do gás (v_s) que passa pelo filtro é calculado através da Equação 4.

$$v_s = \frac{w}{\rho A_f} \quad (4)$$

Quando a equação da velocidade superficial for aplicada na Equação 3 e a vazão mássica for constante, a integração ao longo da espessura (dx) deve levar em conta a variações da densidade (ρ) e da área de filtração (A_f) sobre a velocidade superficial. Durante a passagem do gás através do filtro ocorre uma diminuição da pressão absoluta do gás que é proporcional a uma expansão volumétrica que ocorre. A redução na densidade pode ser representada na modelagem de permeabilidade assumindo que a lei dos gases ideais é válida quando a queda de pressão no filtro é

pequena comparada com a pressão absoluta do gás na qual a filtração ocorre (TANABE, 2011).

Em caso de velocidade de filtração baixa e escoamento viscoso, o segundo termo da Equação 3 pode ser desprezado, e realizando a integração da Equação 3 encontra-se (INNOCENTINI, SEPULVEDA e ORTEGA, 2005 *apud* BORTOLASSI, 2019):

$$\frac{\Delta P}{x} = \frac{\mu}{k_1} v_s \quad (5)$$

O entendimento da permeabilidade é importante pois ela está correlacionada com a eficiência de filtração do aerossol, pois quanto maior a permeabilidade ao ar menor é a eficiência da filtração (AYDIN *et al.*, 2020).

3.3.3. Meios filtrantes

O meio filtrante pode ser constituído por estruturas granulares ou por fibras. A estrutura granular é como um conjunto de partículas ou grãos podendo ter forma variada sendo dispostas regular ou randomicamente. Já os tecidos fibrosos são constituídos por fibras naturais ou sintéticas, retas ou curvas, randomicamente ou dispostas de forma regular (BARROS, 2014).

A seleção do meio filtrante é um processo altamente complexo, pois depende da compatibilidade do filtro com as partículas a serem filtradas (LÖFFLER, DIETRICH e FLATT, 1988 *apud* KOCH, 2008).

Visto a importância de conhecer a compatibilidade do filtro, a caracterização do meio filtrante é bastante importante para determinar a adequação do filtro. Além disso, podem-se usar os resultados das caracterizações para comparar o desempenho de diferentes filtros. Essa comparação pode ser relacionada à queda de pressão que este promove e a emissões de sólidos, ou seja, a eficiência de filtração (KOCH, 2008).

O meio filtrante fibroso é composto por fibras que geralmente estão em uma orientação sucessiva, porém sua orientação perpendicular ao escoamento pode ser aleatória (DAVIES, C N, 1973).

Para compreender melhor a estrutura de um meio filtrante é importante definir termos relacionados a estrutura de um tecido (RODRIGUES, 2006):

- Fibras que compõe o fio, que pode ser confeccionado de materiais sintéticos ou naturais, que pode ser constituído por fibras curtas,

chamadas de fibras cortadas ou “staple”, ou por filamentos que é uma fibra contínua (CHERMISINOFF e YOUNG, 1977 *apud* RODRIGUES, 2006);

- Fios são transformados a partir das fibras que são “torcidas” em fios. Quanto mais torcido for o fio mais forte ele será (DONOVAN, 1985 *apud* RODRIGUES, 2006);
- Tex e o Denier são os sistemas que foram padronizados pela indústria têxtil. O número Tex é definido pela massa em gramas de um quilômetro de fio e multiplicando Tex por nove é definido o número em Denier (CHERMISINOFF e YOUNG, 1977 *apud* RODRIGUES, 2006).

Além desses termos é importante entender que os tecidos podem ser trançados ou não trançados.

Filtros que são utilizados para proteção respiratória são formados por uma camada de fibras finas dispostas aleatoriamente forçando que as partículas se desloquem em uma trajetória tortuosa em comparação com o seu tamanho diminuindo a probabilidade de a partícula atravessar o filtro sem entrar em contato com as fibras (TORLONI; VIEIRA, 2003).

3.3.4. Aerossóis

O aerossol é uma suspensão gasosa de sólidos e/ou partículas líquidas, que possuem uma velocidade de queda desprezível, ou seja, fica suspenso no ar (ABNT NBR 15052, 2021; EN 14683, 2014; KUTTER *et al.*, 2018). O tamanho das partículas de aerossóis estão entre 0,002 e 100 μm , são normalmente estáveis por pelo menos alguns segundos. Aerossol inclui as partículas que estão suspensas no ar e o gás que normalmente é o ar (HINDS, Willian C., 1999).

Os aerossóis podem ser divididos de acordo com a forma física. Estes podem ser classificados em aerossol, bioaerossol, poeira, neblina, névoa, Smog, fumaça e spray (HINDS, William C., 2012). Sua origem pode ser bem versátil, visto que são provenientes de atividades industriais, veículos, queima de biomassa ou até mesmo de forma natural como poeira do solo (FEITOSA, 2009). As partículas dispersas no ar possuem diversas origens e podem afetar a visibilidade, o clima, a qualidade de vida dos seres e a saúde desses seres (HINDS, Willian C., 1999).

Os aerossóis podem ser classificados como primário ou secundário, aerossol homogêneo, monodisperso ou polidispersos. Os aerossóis que são produzidos em laboratórios são chamados de aerossóis monodispersos pois possuem partículas que são do mesmo tamanho. Em geral, a maioria dos aerossóis são polidispersos, tendo uma grande faixa de tamanho de partículas (HINDS, Willian C., 1999).

Além dessas origens tem-se também o fato de gotículas oriundas da saliva que podem conter vírus e bactérias. É importante ressaltar que os aerossóis podem permanecer no ar por um longo tempo permitindo uma transmissão de longo alcance através da inalação. A transmissão depende das condições ambientais como temperatura e umidade relativa do ar (KUTTER *et al.*, 2018).

Ao se tratar de transmissão de vírus e bactérias, a definição do termo aerossol se torna um pouco diferente. Em questões médicas, a diferença entre gotículas e aerossóis está no tamanho das partículas. Aerossóis são menores que 5 μm que permanecem suspenso no ar e com baixa velocidade de sedimentação. São os aerossóis que permitem a transmissão de vírus e bactérias através do ar (KUTTER *et al.*, 2018; LEUNG *et al.*, 2020).

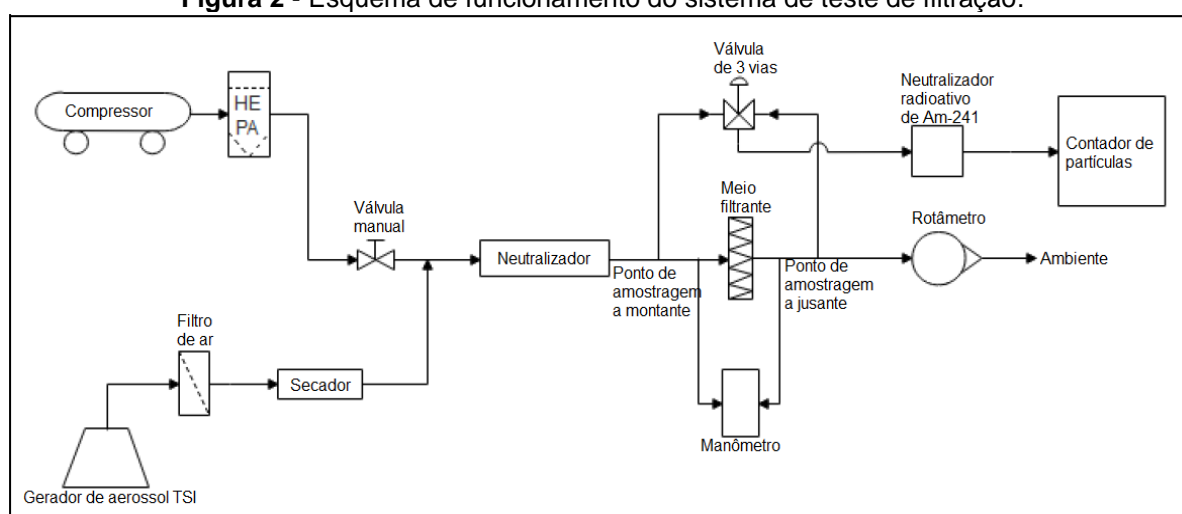
4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo visa apresentar os equipamentos utilizados durante os testes, os materiais utilizados, como as máscaras que foram testadas. e apresentar todos os procedimentos experimentais e as condições operacionais.

4.1. Equipamento de filtração

O sistema de teste de filtração utilizado, para os testes de eficiência de filtração e queda de pressão (respirabilidade), está descrito na Figura 2.

Figura 2 - Esquema de funcionamento do sistema de teste de filtração.



(Fonte: LIMA, 2019)

O teste consiste em um fornecimento de ar por um compressor o qual é limpo por um filtro HEPA. O fluxo do ar é controlado por uma válvula manual e medido por um rotâmetro. O aerossol utilizado para o teste é gerado pelo gerador de aerossol TSI, passa por um filtro de ar e um secador por difusão, onde as partículas grandes e a umidade são retiradas. O aerossol se mistura com o ar limpo e passa por um neutralizador radioativo de Kr-85. A mistura vai para a área de filtração, passando pelo meio filtrante, pelo rotâmetro e é expelido para o ambiente. A queda de pressão é medida por um manômetro digital, antes e depois do filtro. Já para contar a quantidade de partículas, uma amostra é coletada no ponto de amostragem a montante, passa por um neutralizador radioativo de Am-241 e vai para o contador de partículas. O mesmo procedimento é realizado no ponto de amostragem a jusante.

Os componentes e equipamentos utilizados no sistema de testes estão listados abaixo com as descrições e características importantes.

Manômetro

O manômetro utilizado é um manômetro eletrônico com resolução de 0,1 Pa e precisão de 1%. O modelo deste manômetro é Velocicalc Air Velocity Meter Model 9555P fabricado pela TSI. Sua escala de operação é de -3775 a 3735 Pa. O manômetro está representado na Figura 3.

Figura 3 - Manômetro eletrônico utilizado no sistema de testes.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021).

Medidores de temperatura, umidade e pressão

Para a medição de temperatura e umidade no ambiente foi utilizado o aparelho Higo-Therm TFA 30.50000, já que não há um medidor que consiga medir no interior do duto de escoamento. O medidor está representado na Figura 4.

Figura 4 - Medidor de temperatura e umidade.



(Fonte: Arquivo Pessoal, 2021)

Já a pressão atmosférica ambiente é medida por um barômetro de Torricelli. Esta pressão é corrigida pela altitude. O barômetro está representado na Figura 5.

Figura 5 - Barômetro de Torricelli.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

Medidor de vazão

A vazão de ar do sistema é medida utilizando o rotâmetro do modelo Compact shielded flowmeter #14 fabricado pela Gilmont Instrument. O rotâmetro está representado na Figura 6.

Figura 6 - Rotâmetro.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

Neutralizador de aerossol

O sistema de filtração utiliza dois neutralizadores radioativos. O primeiro é um neutralizador de criptônio, Kr-85, modelo 3054 fabricado em março de 1993 pela TSI. Este tipo de material possui meia vida de 1,0756 anos e força da fonte é de 400 Ci/g. O neutralizador está representado na Figura 7.

Figura 7 - Neutralizador de Kr-85).



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

O segundo neutralizador de aerossol é um de amerício, Am-241 que está inserido dentro de uma caixa de chumbo. A meia vida deste tipo de material é de 432,2 anos e força da fonte de 3,5 Ci/g.

Sistema de geração de partículas

As partículas são geradas pelo gerador 3079 Portable Atomizer Aerosol Generator fabricado pela TSI. A vazão máxima do gerador é de 4,2 L/min. Um secador por difusão de 44 cm é acoplado no gerador. O secador utiliza material hidrocópico a sílica-gel. O sistema de geração de partículas está representado na Figura 8 e Figura 9.

Figura 8 - Gerador de partículas.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

Figura 9 - Secador por difusão.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

Contador de partículas

O contador de partículas é do modelo 3776 fabricado pela TSI, que funciona em duas vazões de amostragens diferentes, sendo 0,3 e 1,5 L/min, com intervalo de 1 segundo de contagem, e lendo uma faixa de 2,5 a 3000 nm e uma concentração máxima de 3×10^5 partículas/cm³. O contador de partículas está representado na Figura 10.

Figura 10 - Contador de partículas.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

Seletor de tamanho de partículas

O seletor de tamanho de partículas é do modelo 3080L fabricado pela TSI, funciona com vazão de amostragens na faixa de 0 a 3 L/min, vazões de diluição na faixa de 0 a 30 L/min, faixa de tamanho de 10 a 1000 nm e uma concentração máxima permitida de 10^8 partículas/cm³ para o tamanho de 10 nm. O seletor de partículas está representado na Figura 11.

Figura 11 - Seletor de diâmetro de partículas



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

Sistema de amostragem de aerossol

A amostragem de aerossol é coletada com o auxílio de uma bomba de sucção, alternando entre a montante e a jusante do meio filtrante. O primeiro ponto é localizando antes do meio filtrante e o segundo ponto depois do meio filtrante. A coleta dos dados é escolhida por uma válvula de 3 vias que determina qual dos pontos vai ser coletado. O sistema de amostragem de aerossol está representado na Figura 12.

Figura 12 - Sistema de amostragem de aerossol.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

Caixa de acrílico

Foi desenvolvida uma caixa de acrílico com as dimensões de 0,5x0,5x0,35 m em que é possível colocar uma cabeça de manequim a fim de simular a utilização da máscara inteira. Dessa forma, foi possível realizar testes a fim de obter a eficiência de filtração das máscaras e observar a importância do ajuste da máscara ao rosto.

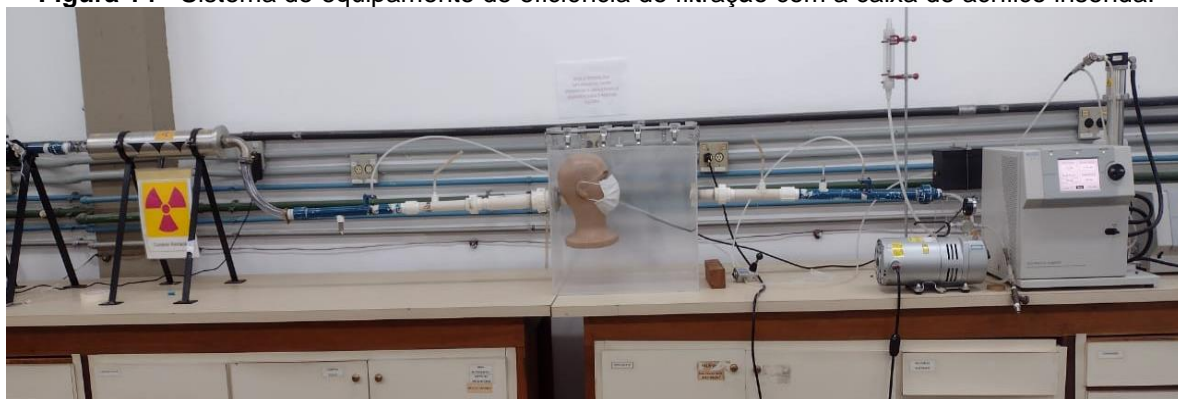
A caixa foi desenvolvida para que possibilitasse a entrada de ar com as nanopartículas por uma tubulação. Essa tubulação é encaixada na cabeça do manequim simulando uma boca aberta, com um diâmetro de 3,9 cm. A máscara é colocada na cabeça e o teste pode ser realizado. As vazões escolhidas para a realização do teste foram de acordo com a velocidade superficial.

Figura 13 - Caixa de acrílico com a cabeça de manequim.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

Figura 14 - Sistema do equipamento de eficiência de filtração com a caixa de acrílico inserida.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2021)

4.2. Materiais

As máscaras utilizadas neste estudo foram máscaras cirúrgicas adquiridas em lojas especializadas e estão descritas na Tabela 7, que apresenta as informações fornecidas pelo fabricante. Além das máscaras cirúrgicas foram também caracterizados dois respiradores (PFF), para comparar com os resultados obtidos utilizando as máscaras cirúrgicas.

As máscaras foram preparadas como a norma ABNT NBR 15052 sugere, sendo necessário cortar as máscaras para se obter de 4 a 5 amostras (Veja Figura 15). Os testes foram realizados em todas as amostras e após isso foi calculado a média da eficiência de filtração de partículas e a respirabilidade de cada máscara.

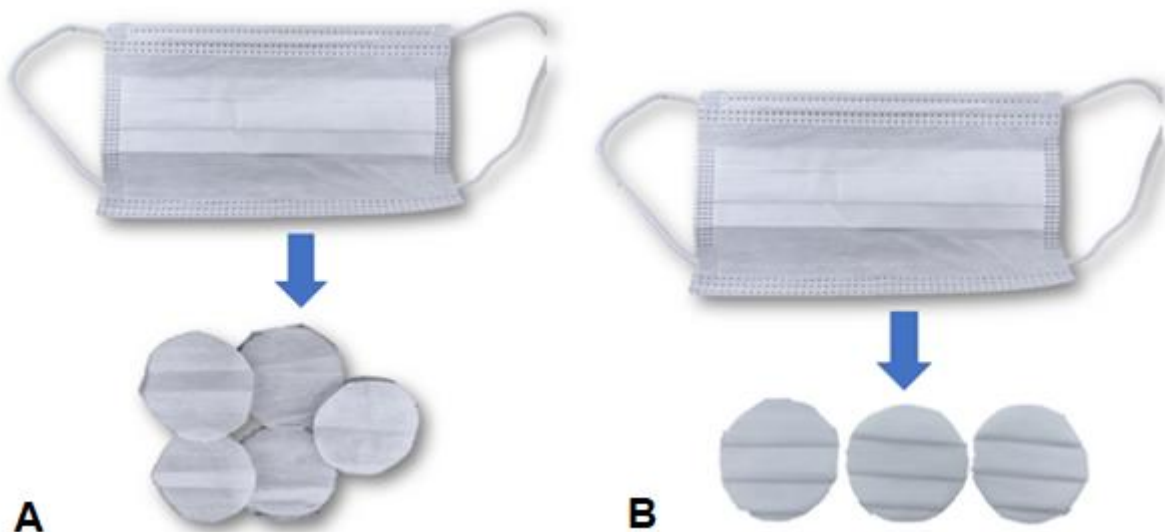
Tabela 7 - Máscaras utilizadas durante os testes.

Máscaras	Descrição na caixa
A95%	95% de EFP
A98%	98% de EFP
B	99% EFB
C1	95% EFB e 98% EFP
C2	Máscara de uso não profissional
D	EFB \geq 98,5%
E	Máscara de proteção PFF2/S-KN95, EFB >95%
F	Máscara PFF2

EFB: Eficiência de filtração bacteriana; EFP: Eficiência de filtração de partículas.

As nomenclaturas das máscaras estão relacionadas ao fabricante. As letras são referentes a empresa e a numeração está para diferenciar uma máscara da outra, pois foram analisadas máscaras produzidas pela mesma empresa.

Figura 15 - Preparação das máscaras para os testes no suporte. A: sem as dobradiças; B: com as dobradiças.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2022)

Um outro teste realizado foi com a presença das dobradiças. Dessa forma, as máscaras foram cortadas sem retirar a lateral da máscara e obteve-se 3 amostras como apresentado na Figura 15 (B).

4.3. Metodologias

A caracterização das máscaras é importante pois é ela que permite concluir se as máscaras possuem os requisitos necessários para serem utilizadas com segurança. A eficiência de filtração de partículas e a respirabilidade são os dois parâmetros mais importantes, porque as máscaras precisam possibilitar uma boa respiração (permitir a passagem do ar pela máscara sem muito esforço) e ter uma boa eficiência ao capturar as partículas (AYDIN *et al.*, 2020).

As metodologias aplicadas na realização dos testes de eficiência de filtração de partículas e queda de pressão foram de acordo com as normas nacional e internacional vigentes para máscaras cirúrgicas, porém com algumas adaptações devido ao equipamento utilizado. Essas adaptações não interferiram nos resultados encontrados.

4.3.1. Estabilidade de geração de Partículas

Foram realizados experimentos para comparar a estabilidade da geração de partículas de Látex e de NaCl. O procedimento experimental consiste em preparar a

solução de Látex, que é utilizada para os testes de eficiência de filtração, adicioná-la no gerador de partículas e então ligar a bomba para iniciar a geração de partículas. A vazão foi ajustada para 28 L/min e após 5 minutos, para que houvesse a estabilização de partículas no sistema, iniciou-se a contagem 24 vezes de 60 segundos para partículas de 98,2 e 101,8 nm. O mesmo procedimento foi repetido para a solução de NaCl de 0,1 g/L. A concentração da solução de NaCl foi definida de acordo com a quantidade de partículas que deveriam ser geradas para comparar com a quantidade de partículas geradas com a solução de Látex, para partículas de 100 nm.

4.3.2. Queda de pressão (respirabilidade)

A queda de pressão é mais um parâmetro importante para avaliar o desempenho da filtração. Ela é calculada a partir da diferença de pressão antes do meio filtrante e depois do meio filtrante. Além disso, esse parâmetro é um indicador de conforto e respirabilidade do uso das máscaras (KONDA *et al.*, 2020). A pressão diferencial varia com a viscosidade do ar (μ), velocidade superficial do gás (u) e é diretamente proporcional à espessura do material de filtro (x).

A queda de pressão é obtida a partir do equipamento de filtração que está descrito no item 4.1 (Figura 3).

O princípio da determinação de pressão diferencial consiste em medir a diferença de pressão antes e depois do material filtrante colocado em uma corrente de ar a uma vazão de ar controlada e conhecida.

O procedimento consiste em conectar o manômetro eletrônico na linha de testes de filtração, onde a amostra da máscara a ser caracterizada está devidamente ajustada a um suporte do sistema de filtração, e ligá-lo. É muito importante garantir que não existam vazamentos no sistema de filtração, para evitar erros na medida da queda de pressão. Em seguida, a vazão de ar foi ajustada para 8 L/min, como é estabelecido pela Norma ABNT NBR 15052 (2021). A área de teste foi de 5,12 cm², valor permitido pela norma. Após o estabelecimento da vazão pode-se medir a resistência à passagem de ar pela máscara, ou seja, a queda de pressão. Estes testes foram realizados em todas as amostras de cada máscara, de acordo com que as normas estabelecem, e o valor da queda de pressão da máscara analisada foi obtido calculando-se a média dos valores encontrados para cada amostra retirada desta máscara.

4.3.3. Eficiência de filtração de partículas

A eficiência de filtração de partícula é o parâmetro que define o desempenho de um filtro na captura de partículas suspensa no ar, representando a redução percentual da concentração de partículas em relação à entrada (TORLONI; VIEIRA, 2003). Para definir a eficiência de filtração de partículas é utilizado um equipamento capaz de determinar a concentração ou o número total de partículas a montante e a jusante do filtro. A eficiência depende das características físicas do material filtrante e do tamanho de partículas.

Esse método pode ser utilizado para comparar a eficiência das variações de máscaras devido a mudança do material utilizado como meio filtrante.

O teste de determinação de eficiência de filtração de partículas consiste em nebulizar nanopartículas e transferi-las para o fluxo de ar que atravessa a máscara cirúrgica com uma vazão definida. As partículas são contadas antes e depois da máscara, dessa forma é possível obter a eficiência de filtração das partículas a partir da diferença da quantidade de partículas encontradas antes e depois. O teste foi realizado no equipamento do Laboratório de Controle Ambiental de eficiência de filtração descrito no item 4.1.

Inicialmente, liga-se o equipamento e em sequência realiza-se o ajuste da leitura de tamanho das partículas que se deseja analisar, para estes testes foi de 100 nm. Logo em seguida, liga-se o gerador de partículas para gerar as nanopartículas, através da solução de NaCl ou de Látex, para a realização dos testes de filtração. A amostra da máscara foi preparada como apresentada no item 4.2 e foi adicionada ao suporte. O suporte foi fechado e verificou-se se o sistema de filtração estava sem vazamento de ar. Em seguida, a vazão foi estabelecida, os equipamentos foram todos ligados, esperava-se 5 minutos para a estabilização da geração das partículas e iniciava-se os testes de filtração para determinar a eficiência daquela amostra. Devido o equipamento realizar a contagem de partículas por amostragem e não do fluxo inteiro, a coleta de dados foi realizada por 60 segundos antes da máscara e por mais 60 segundos depois da máscara, sendo amostradas, de forma alternada, três coletas antes e três coletas após o suporte com a máscara. Estes testes foram realizados com 4 amostras que foram cortadas de cada máscara.

A eficiência de filtração foi calculada pela Equação:

$$EFP\% = \frac{C - T}{C} \times 100 \quad (6)$$

sendo C a média do total de partículas contadas antes da máscara e T a média do total de partículas contadas após a máscara, e então foi calculado a média dos resultados obtidos pelas 4 amostras da mesma máscara.

Tabela 8 - Resumo dos testes que foram realizados.

	Norma	Partículas	Local	Amostras	Tamanho das partículas	Velocidade de face (cm/s)	Vazão (L/min)
Teste 1	ABNT NBR 15052 (2004)	Látex	Suporte	Sem dobradiças	100 nm	91,16	28
Teste 2		NaCl	Suporte	Sem dobradiças	100 nm	91,16 22,79 13,02	28 7 4
Teste 3		NaCl	Suporte	Com dobradiças	100 nm	91,16 22,79 13,02	28 7 4
Teste 4	ABNT NBR 15052 (2021)	NaCl	Cabeça	Máscara inteira	8,2 a 289 nm	23,1 12,91 6,79	17 9,5 5
Teste 5		NaCl	Suporte	Sem dobradiças	8,2 a 289 nm	23,1 12,91 6,79	7,09 3,96 2,04

Os testes foram realizados de acordo com as normas existentes e houve a mudança de alguns parâmetros para avaliar o efeito na eficiência de filtração. Essas variações estão apresentadas na Tabela 8 e serão mais bem descritas a seguir.

4.3.3.1. Eficiência de filtração de partículas de acordo com a ABNT NBR 15052 (2004)

A Norma ABNT NBR 15052 (2004) estabelece que os testes de eficiência de filtração sejam realizados utilizando partículas de Látex, com uma vazão de 28 L/min, avaliando partículas de 100 nm e que as máscaras tenham a presença das dobradiças. Os testes iniciais foram realizados com essas condições, porém sem a presença das dobradiças.

Após a realização dos testes descritos acima, avaliou-se alterar as partículas de Látex para NaCl, com propósito de observar a influência das partículas nos resultados dos testes de eficiência de filtração de partículas.

Além disso, a Norma Americana ASTM F2299 (2017) estabelece que os testes de eficiência de filtração devem ser realizados com a velocidade superficial de filtração

entre 0,5 e 25 cm/s. Porém, a velocidade encontrada para a vazão imposta pela ABNT NBR 15052 (2004) é bem superior a 25 cm/s, como apresentado na Tabela 9.

Devido a isso, avaliou-se realizar testes com mais duas vazões inferiores que obtém velocidade superficial menor que 25 cm/s. para obter uma velocidade superficial dentro do que a Norma Americana propõe. Dessa forma, foi realizado testes nas máscaras utilizando solução de NaCl (concentração de 0,5 g/L) com tamanho de 100 nm, nas três vazões que estão apresentadas na Tabela 9, sem a presença das dobradiças. Dessa forma, foi possível avaliar como a mudança de partículas e a variação da vazão (velocidade superficial de filtração) interferem nos resultados de eficiência de filtração obtidos para as máscaras.

Tabela 9 - Velocidade superficial de acordo com cada vazão e área utilizada para realizar o teste de eficiência de filtração.

Vazão (L/min)	Área (cm ²)	Velocidade superficial (cm/s)
28	5,119	91,16
7		22,79
4		13,02

Após realizar réplicas destes testes, foram realizados testes utilizando partículas de NaCl com tamanho de 100 nm, nas três vazões apresentadas na Tabela 9 e agora com a presença das dobradiças, como sugeria a Norma Brasileira.

Tanto as Normas Brasileiras quanto a Americana estabelecem que os testes sejam realizados utilizando partículas de Látex, mas avaliando os resultados obtidos, que serão discutidos posteriormente, foi mantido o uso de NaCl para todos os demais testes para obter resultados mais confiáveis.

4.3.3.2. Eficiência de filtração de partículas de acordo com a ABNT NBR 15052 (2021)

Como a Norma Brasileira ABNT NBR 15052 (2004) foi cancelada e foi publicada uma nova atualização, ABNT NBR 15052 (2021), foi avaliado as mudanças presentes nessas normas. Para o teste de eficiência de filtração de partículas a atual Norma Brasileira estabelece que seja utilizado a Norma Americana ASTM F2299 (2017) como parâmetro.

A norma Americana para os testes de eficiência de filtração de partículas possui algumas diferenças para a norma que estava vigente no Brasil, no início da pandemia.

Essas diferenças estão principalmente no tamanho de partículas que são avaliadas e na velocidade de superfície que os testes são realizados, como já discutido anteriormente. A Norma ASTM F2299 (2017) recomenda que os testes sejam realizados com partículas de 100 a 5000 nm, porém o equipamento do Laboratório de Controle Ambiental da UFSCar faz leitura apenas de nanopartículas. Dessa forma foi estabelecido que os testes segundo esta norma seriam entre 8,2 e 289 nm, para simular tamanho de vírus e bactérias, avaliando uma faixa um pouco inferior ao que a norma propõe já que o equipamento permite esta avaliação.

A Norma ASTM F2299 (2017), estabelece que as coletas sejam feitas de forma alternada e durante 60 segundos, da mesma forma que já estava sendo feito.

Como já apresentado na Figura 13, foi fabricada uma caixa com um manequim para testar as máscaras inteiras. Para a realização dos testes utilizando a caixa de acrílico, as condições foram de acordo com a atualização da norma. Dessa forma, as vazões de teste utilizando a caixa de acrílico foi de acordo com a velocidade de face. A fim de comparação com os testes já realizados, fixou-se as velocidades de 23,1 e 12,91 cm/s e então adicionou-se mais uma velocidade para obter mais um parâmetro dentro desta faixa de velocidade estabelecida pela norma.

Sendo assim, a partir das velocidades e da área de teste foi calculado as vazões utilizadas durante a realização dos testes. Essas vazões, áreas e velocidades estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10 - Vazões utilizadas nos testes de acordo com a norma americana ASTM F2299 (2017).

	Vazão (L/min)	Área (cm²)	Velocidade de face (cm/s)
Cabeça	17	12,267	23,1
	9,5		12,91
	5		6,79
Suporte	7,09	5,119	23,1
	3,96		12,91
	2,09		6,79

Como a adição de uma caixa de acrílico no sistema que possui um volume consideravelmente grande, durante o teste foi importante aguardar um tempo maior (veja Tabela 11) para que a concentração de partículas presente na caixa se estabiliza-se. Este tempo foi calculado a partir da vazão e do volume da caixa. A Tabela 11 apresenta os dados para a realização do teste.

Tabela 11 - Tempo necessário para a estabilização da quantidade de partículas presente na caixa.

Volume (L)	Vazão (L/min)	Tempo (min)
87,5	17	5,147
	9,5	9,211
	5	17,5

O teste consistiu em adicionar a caixa no equipamento e foi testado se não havia vazamento. Feito isso, iniciou-se a geração das partículas de NaCl (solução com concentração de 0,5 g/L), estabeleceu-se uma vazão e aguardou o tempo necessário para a estabilização da concentração das partículas. Neste teste, as coletas foram realizadas apenas após a caixa, dessa forma as coletas foram realizadas de forma diferente do que foi descrito anteriormente. Assim, iniciava-se os testes com a cabeça do manequim sem a máscara. Após a estabilização da quantidade de partículas realizava-se a coleta das nanopartículas por 60 segundos, conforme estabelecido pela Norma F2299 (2017). Foram feitas 3 coletas para observar se a concentração das partículas estava constante. Após essas coletas, abriu-se a caixa, inseriu a máscara na cabeça do manequim, fechou-se a caixa e todo o procedimento foi realizado novamente.

Dessa forma, foi possível obter a eficiência de filtração de partículas da máscara a partir da diferença de partículas antes e após a presença da máscara. O teste descrito anteriormente foi realizado para as três vazões apresentadas na Tabela 11 e em todas as máscaras testadas.

Existem 2 manequins que podem ser utilizados nos testes. A diferença dos dois manequins está no tamanho da cabeça e como as máscaras ficam ajustadas. Dessa forma, utilizando os dois manequins permitiu avaliar a importância do ajuste da máscara ao rosto. Foram realizados o mesmo teste descrito anteriormente com o segundo manequim, para avaliar essa interferência nos resultados.

Após a realização de todos os testes com a caixa de acrílico com as cabeças dos manequins masculino e feminino, as máscaras foram cortadas obtendo entre 4 e 5 amostras de cada uma das máscaras e realizou-se o teste no suporte de meio filtrante com área de 5,119 cm². As condições dos testes se mantiveram iguais aos utilizados no teste com a caixa, mantendo constante a velocidade superficial, partículas de NaCl (concentração da solução de 0,5 g/L) com tamanho de 8,2 e 289 nm, e tempo de coleta de 60 segundos. Como os testes foram realizados utilizando o suporte a área de filtração do suporte é inferior ao da cabeça, foram calculadas as

vazões necessárias a serem aplicadas no teste com o suporte a partir das velocidades superficiais. As vazões utilizadas no teste com o suporte encontram-se na Tabela 10.

Dessa forma, o teste 5 apresentado na Tabela 8 foi realizado nas máscaras testadas na caixa de acrílico, a vazão foi estabelecida, os equipamentos ligados e esperou-se 5 minutos para a estabilização da geração das partículas. As coletas foram de 60 segundos cada, antes e depois do suporte com a amostra da máscara, de forma alternada, para as três vazões apresentadas na Tabela 10.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os dados e a discussão dos resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho, como: análise da variação das partículas na eficiência de filtração, da permeabilidade, queda de pressão, características das fibras das máscaras por análise de imagens, obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), e as diferenças das normas utilizadas para a realização deste estudo.

5.1. Análise da estabilidade de partículas

O resultado do teste de estabilidade de partículas está apresentado na Tabela 12 e Figura 16. Nota-se que a partícula de látex começou com uma concentração de 633,9 #/cm³ e terminou com a concentração de 511,7 #/cm³, obtendo uma variação de 19,3%. É possível verificar que a geração das partículas de látex vai diminuindo com o passar do tempo, não apresentando estabilidade na geração das partículas. A partir do desvio da concentração de partículas, foi possível calcular a porcentagem da variação com o tempo. Observa-se que o desvio padrão para a partícula de Látex foi de 35,4, correspondendo a 6,2% da média das concentrações encontradas. Verifica-se então uma grande variação da concentração das partículas de Látex, influenciando diretamente nos resultados de eficiência de filtração.

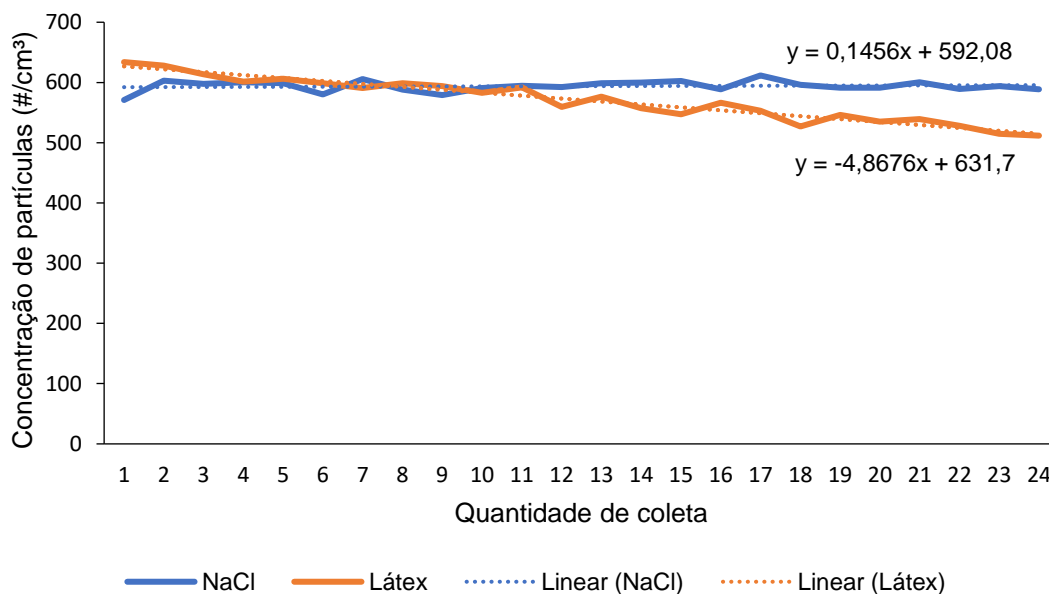
Tabela 12 - Teste de estabilidade das partículas de Látex e NaCl

Partícula	Concentração de partículas (#/cm ³)						Média (#/cm ³)	Desvio
Látex	633,9	628,1	613,6	601,2	606,1	598,5	570,9	35,4
	591,1	598,6	594,0	582,6	592,0	559,3		
	576,4	557,3	547,1	566,3	553,2	526,9		
	545,9	535,0	539,0	528,1	514,7	511,7		
NaCl	570,9	602,9	597,9	600,3	598,8	579,9	593,9	9,0
	605,8	587,9	579,3	590,7	594,6	592,6		
	598,8	599,9	602,5	588,4	611,6	596,3		
	591,4	591,3	600,2	589,0	593,9	588,4		

Analisando as concentrações da solução de NaCl, observa-se uma boa estabilidade na geração de partículas. A variação da geração das partículas de NaCl foi muito menor do que a variação da geração das partículas de látex. Nota-se que, para as partículas de NaCl, a concentração começou em 570,9 #/cm³ e terminou em 588,4 #/cm³, com variação de 3,1% entre o maior e menor valor de concentração. A

partir do desvio da concentração de partículas, foi possível calcular a porcentagem da variação com o tempo. Observa-se que o desvio padrão para as partículas de NaCl foi de 9,0 correspondendo a 1,5% da média das concentrações encontradas.

Figura 16 - Representação da variação da concentração das partículas de Látex e NaCl a cada coleta.



Comparando os resultados encontrados para as nanopartículas utilizadas, verifica-se que para as partículas de NaCl a concentração manteve-se mais estável durante a geração do que quando foram geradas partículas de Látex, levando a valores de eficiência de filtração mais consistentes. Isto também pode ser verificado na Figura 16, que é possível observar claramente que as partículas vão diminuindo com o aumento das coletas. Isto ocorreu porque durante a geração das nanopartículas de Látex a concentração caía constantemente, ocasionando em resultados instáveis. Este comportamento das partículas de Látex ocorre independente da concentração de partículas, o que pode justificar é a instabilidade da solução de Látex.

5.2. Análise das Normas para máscara cirúrgica

Ao analisar as normas vigentes para máscaras cirúrgicas, foi possível observar alguns pontos que permitem uma variação na forma de executar os testes propostos pela norma. Essas variações influenciam diretamente nos resultados obtidos.

Com relação a atualização da norma brasileira, observa-se que houve um melhoramento com relação ao descrever os testes e um maior cuidado com pontos importantes da metodologia, como a descrição de equipamento a ser utilizado, a área

da amostra que deve realizar o teste, entre outros pontos. Na Norma ABNT NBR 15052 (2004) para o teste de queda de pressão a área de teste para a queda de pressão não era especificada. Dessa forma, um teste com a vazão de 8 L/min (como especificado nas normas vigentes no Brasil) poderia ser realizado em várias áreas, o que influencia diretamente nos resultados. Ao fazer testes em áreas maiores, apresentaria uma queda de pressão inferior, quando comparado a um teste realizado em uma área menor. Na norma atualizada em agosto de 2021 isto não ocorre mais, porque foi especificado o diâmetro da amostra que deve ser testada, deixando o teste padronizado.

Também, observa-se nas normas brasileiras o uso do termo fluxo de ar se referindo a vazão de ar. Este termo pode ocasionar dúvidas ao se executar a norma. Devido a Norma Brasileira ter se baseado em quase sua totalidade nas normas americanas e europeias, ao fazer a tradução dos termos não houve um cuidado em utilizar os termos técnicos utilizados aqui. Esse descuido pode ser observado na Norma ABNT NBR 15052 (2004), ABNT NBR 15052 (2021) e até mesmo na Norma para respiradores, ABNT NBR 13698 (2011).

Quando se compara a Norma que estava vigente até julho de 2021 com a Norma Americana, nota-se que a Norma Brasileira não apresentava a área de filtração que o teste deveria ser realizado, apenas era especificado a vazão de ar (28 L/min) que deveria ser utilizada durante a realização dos testes. Sabe-se que a variação da área interfere diretamente na velocidade de face (superficial), conseqüentemente, nos resultados de eficiência de filtração. Isto porque, para a mesma vazão de ar, ao se utilizar uma área de filtração maior, a velocidade ficaria menor, levando a valores de eficiência maiores, já para uma área menor, a velocidade superficial aumentaria e, evidentemente, a eficiência de filtração diminuiria.

A Norma Americana para o teste de eficiência de filtração de partículas, ASTM F2299 (2017), apresenta mais detalhes do que a Norma Brasileira vigente até julho de 2021. A atualização desta norma permitiu que houvesse uma padronização melhor dos testes de eficiência das máscaras, o que contribui para a qualidade e credibilidade dos testes de eficiência. No entanto, a nova Norma publicada em agosto de 2021 define uma faixa de velocidade superficial, de 0,5 a 25 cm/s, em que os testes devam ser realizados. Essa faixa de velocidade superficial é ampla, o que pode interferir diretamente no resultado de eficiência de filtração de partículas, dependendo da

escolha da velocidade para realização do teste, visto que quanto menor a velocidade de face maior será a eficiência de filtração.

Todas as normas para máscaras cirúrgicas pedem que os testes de eficiência de filtração de partículas sejam realizados com nanopartículas, a norma brasileira que estava vigente até julho de 2021 pede para fazer teste com 100 nm e a norma vigente propõe que o teste seja realizado para partículas entre 0,1 a 5 μm . Mas, as máscaras cirúrgicas são utilizadas para proteger contra a inalação de patógenos transmitidos por gotículas, faixa aproximada de tamanho de 5 μm (ANVISA, 2009). Se as máscaras têm como intuito proteger contra patógenos transmitidos por gotículas, as partículas testadas devem ser do tamanho desses patógenos, não nanopartículas.

Avaliando o manual do contador, que a Norma Brasileira ABNT NBR 15052 (2004) sugere que utilize nos testes, observa-se que a vazão de operação deste equipamento é de 28,3 L/min (PMS LPC-110, 2016). Esta informação comprova que a vazão estabelecida pela Norma Brasileira era de acordo com uma limitação do equipamento sugerido pela norma, sem justificativa relacionada a atividade respiratória humana.

É muito importante a Associação Brasileira de Normas Técnicas rever e desenvolver uma norma mais apropriada para nossas realidades, com as características importantes.

5.3. Permeabilidade

O teste de permeabilidade possibilitou um melhor entendimento dos meios filtrantes presentes nas máscaras. O teste de permeabilidade foi realizado em cada amostra de cada máscara e, então, foi calculado a média dos resultados para obter a permeabilidade de cada máscara. Como utilizou-se mais de uma máscara de cada empresa para realizar os testes, as permeabilidades descritas na Tabela 13 são referentes a média das máscaras que foram testadas pelo mesmo procedimento de eficiência de filtração. Os resultados de cada amostra estão descritos na

Tabela 26, apresentada no Apêndice.

Todos os testes de permeabilidade foram realizados da mesma forma, independentemente de qual norma seria utilizada como base, já que não é um teste exigido. A única diferença destes testes está relacionada a presença ou não das dobradiças. Analisando os resultados das máscaras A95%, por exemplo, é possível

observar que a permeabilidade sem as dobradiças foi em torno de $1,56 \times 10^{-11}$, e com a dobradiças foi de $8,36 \times 10^{-12}$. Com as dobradiças a permeabilidade das máscaras foi menor para todas as máscaras testadas, resultado esperado porque com as dobras aumenta as camadas de meio filtrante dificultando a passagem do ar.

Comparando os valores de permeabilidade das máscaras E e F com os das máscaras A95%, A98% e D, a máscara F apresentou o valor de permeabilidade próximo ao valor obtido para estas máscaras. As máscaras E e F são respiradores, que tem por norma terem eficiência maior que 94% para partículas de 60-75nm com vazão de 95 L/min, e não máscaras cirúrgicas, portanto este resultado da máscara F era esperado. Porém, a permeabilidade está relacionada à espessura do meio filtrante, o fato dos respiradores apresentarem uma espessura maior que a das máscaras cirúrgicas contribuem para que a permeabilidade seja menor, porque o ar encontra uma maior resistência ao passar por eles.

Tabela 13 - Permeabilidade das máscaras utilizadas durante os testes com partículas de NaCl.

Máscara	Empresa		Permeabilidade - Darcy					
Máscara 22	A95%	Sem dobradiças	1,56E-11					
Máscara 23								
Máscara 26								
Máscara 24	A98%		Sem dobradiças	1,64E-11				
Máscara 25								
Máscara 27	B			Sem dobradiças	6,53E-12			
Máscara 28								
Máscara 29	C1				Sem dobradiças	2,30E-11		
Máscara 30								
Máscara 31	C2					Sem dobradiças	7,09E-10	
Máscara 32								
Máscara 33	D						Sem dobradiças	1,46E-11
Máscara 34								
Máscara 37	A95%	Com dobradiças						8,36E-12
Máscara 38								
Máscara 43								
Máscara 39	A98%		Com dobradiças					9,07E-12
Máscara 40								
Máscara 44								
Máscara 35	C1			Com dobradiças	1,34E-11			
Máscara 36								
Máscara 45								
Máscara 41	D				Com dobradiças	1,17E-11		
Máscara 42								
Máscara 46								
Máscara 47	A95%	Sem dobradiças				1,64E-11		

Máscara 48			
Máscara 49			
Máscara 50			
Máscara 51	A98%		1,72E-11
Máscara 52			
Máscara 56			
Máscara 57	C1		1,84E-11
Máscara 58			
Máscara 59	D		1,31E-11
Máscara 60			
Máscara 67	A95%		1,69E-11
Máscara 73			
Máscara 68	A98%		4,37E-11
Máscara 74			
Máscara 69	B	Sem dobradiças	6,15E-12
Máscara 75			
Máscara 70	C1		1,85E-11
Máscara 76			
Máscara 71	C2		7,35E-10
Máscara 77			
Máscara 72	E		1,39E-11
Máscara 78			
Máscara 81	F		1,42E-11
Máscara 82			
Máscara 79	E		1,36E-11
Máscara 80			
Máscara 83	F	Sem dobradiças	1,68E-11
Máscara 84			
Máscara 87	A98%		1,88E-11
Máscara 88	A98%		1,87E-11
Máscara 89	A98%		1,93E-11
Máscara 90	A98%		2,03E-11

Além disso, ao analisar os resultados das máscaras testadas, da mesma empresa, sem as dobradiças, observa-se que há uma variação considerável da permeabilidade. Um exemplo é a máscara A98% que apresentou permeabilidade entre $4,37 \times 10^{-11}$ e $1,64 \times 10^{-11}$, variando mais de 2,6 vezes. Portanto, verificou-se que dentro de um mesmo lote de máscaras, ou seja, da mesma caixa, houve uma grande variação da permeabilidade das máscaras, o que interfere diretamente na eficiência de filtração, diminuindo a garantia de proteção que a máscara deveria dar para o usuário e o conforto durante a respiração. Logo, pode-se concluir que as empresas não fabricam máscaras com um bom padrão de uniformidade entre elas, mesmo sendo do mesmo lote em que foram compradas.

5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram obtidas imagens das máscaras em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), da marca Philip XL-30 FEG (Field Emission Gun) do Laboratório de Caracterização Estrutural (LCE) do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Com as imagens de MEV das máscaras foi possível avaliar a estrutura do tecido da máscara, como: o arranjo das fibras no tecido, o entrelaçamento delas, a quantidade de fibras, avaliar o diâmetro das fibras, para relacioná-la com os resultados obtidos de queda de pressão e eficiência de filtração de partículas das máscaras. As imagens das máscaras cirúrgicas e PFF obtidas no MEV estão expostas nas Figura 17 e Figura 18, respectivamente. A partir das imagens foi calculado o diâmetro das fibras e os resultados estão apresentados na Tabela 14.

As imagens das máscaras cirúrgicas da Figura 17, obtidas neste estudo, apresentaram praticamente a mesma estrutura das imagens das máscaras cirúrgicas que foram apresentadas no trabalho de Moraes et al. (2021). Verificou-se através das imagens que todas as máscaras continham pontos de soldagem, as fibras estavam dispostas aleatoriamente, o que pode favorecer a filtração de nanopartículas. Segundo Moraes et al. (2021), os pontos de soldagem podem aumentar a eficiência de filtração, por apresentarem fibras mais aglomeradas. Porém, esses pontos também podem ocasionar um aumento da queda de pressão, dificultando a respiração.

Avaliando a imagem correspondente a máscara cirúrgica B, nota-se nitidamente que há duas camadas de fibras, a superior tendo fibras mais espalhadas e diâmetros maiores (15,03 μm) e a camada inferior com fibras com diâmetro menores (9,83 μm) e poros mais fechados, quando comparado com as demais imagens das outras máscaras. Comparando a camada inferior da máscara B com as imagens obtidas dos respiradores E e F, apresentados na Figura 18, é possível destacar que mesmo sendo uma máscara cirúrgica, ela possui uma estrutura de fibras mais fechadas, bem parecida com a imagem F da Figura 18, corroborando com os resultados obtidos durante o teste de permeabilidade apresentados anteriormente

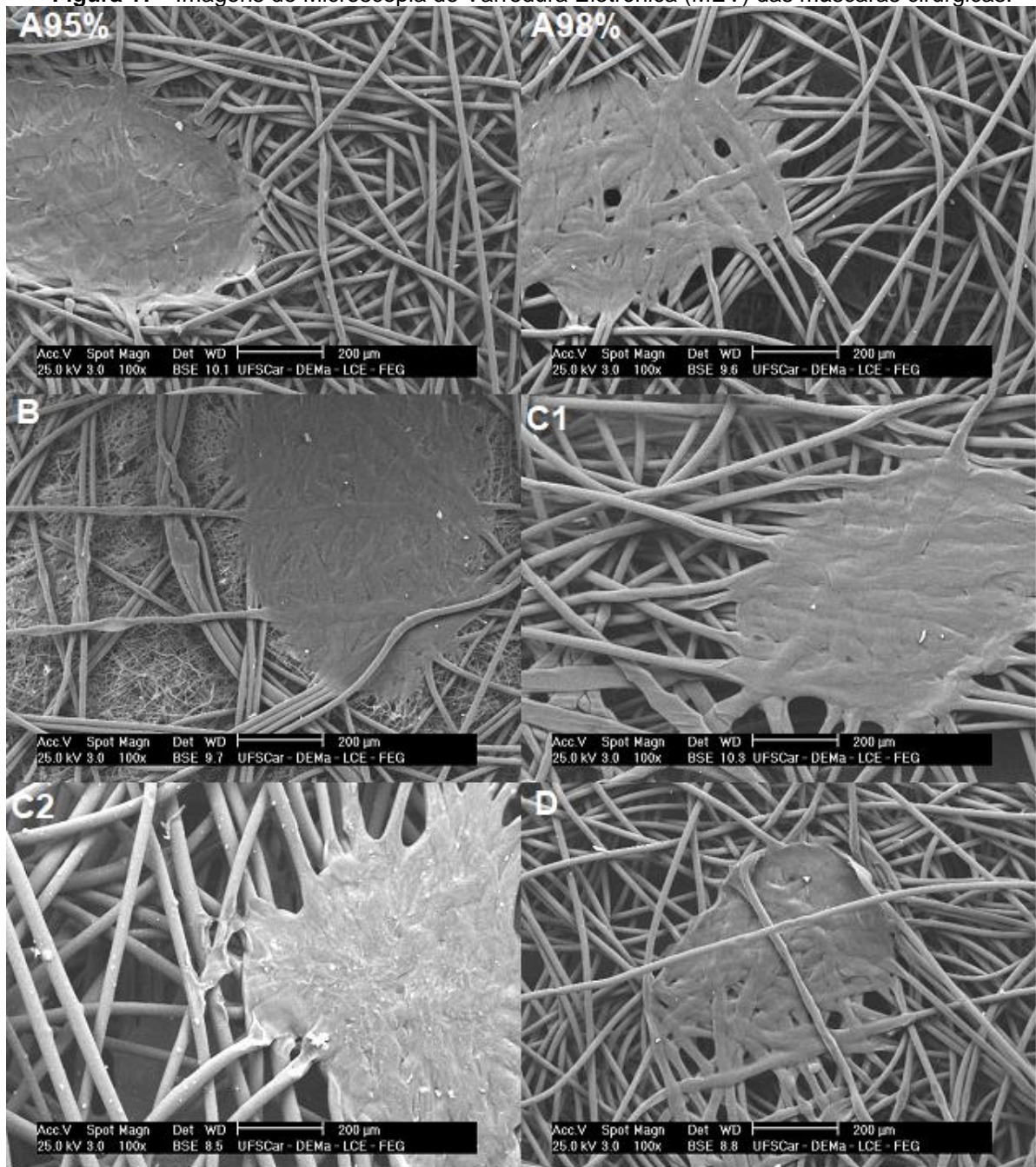
A imagem da máscara C2 (máscara de uso não profissional) mostra fibras com diâmetros maiores (34,34 μm), menor densidade de fibras, ou seja, mais espalhadas, concordando com o maior valor de permeabilidade, apresentado na Tabela 13, obtido entre as máscaras aqui investigadas.

Portanto, as imagens de MEV da Figura 17 evidenciaram o que já era esperado com os resultados de permeabilidade. No entanto, conhecer a disposição das fibras nas máscaras, a densidade de empacotamento das fibras e o diâmetro das fibras, permite ter uma visão importante para melhor compreender o comportamento dos principais parâmetros envolvidos na filtração de ar. Outro ponto, observado nas imagens, que merece destaque, são as fibras fundidas (aglomeradas) que apareceram em todas as máscaras cirúrgicas investigadas neste estudo, tendo sempre uma região de poros bem fechados, o que irá dificultar a passagem de ar nesta área, podendo criar caminhos preferenciais durante o escoamento do ar, e aumentar a velocidade superficial, devido a redução da área de filtração, o que pode resultar na queda da eficiência de filtração e no aumento da queda de pressão (desconforto) da máscara.

A máscara E, que é um respirador (Figura 18), apresenta poros mais fechados, e as fibras mais entrelaçadas e com diâmetros maiores (27,87 μm). Mesmo sendo um respirador, a sua superfície é semelhante às imagens das superfícies das máscaras cirúrgicas, exceto à da máscara B, que apresentou uma segunda camada com maior quantidade de fibras, sendo elas bem mais finas, e estrutura mais fechada. A permeabilidade obtida para o respirador E ficou bem próxima a permeabilidade obtida para as máscaras cirúrgicas.

A máscara F (Figura 18) que também é um respirador, apresentou uma estrutura completamente diferente do respirador E e das máscaras cirúrgicas. Este respirador foi o que apresentou o menor valor de diâmetro médio das fibras (5,34 μm) em comparação ao respirador E e às máscaras cirúrgicas, como também uma maior densidade de fibras. Estas características corroboram com os resultados que foram obtidos para permeabilidade e também para a eficiência de filtração, que serão apresentados a seguir. O respirador F não apresentou ponto de soldagem, como foi verificado nas outras imagens, as fibras estavam dispostas aleatoriamente em uma estrutura mais fechada e eram bem mais finas, o que deve ter contribuído para que a sua permeabilidade não fosse tão baixa e para o maior valor de eficiência de coleta das partículas, porque meios filtrantes com fibras com diâmetros menores são mais eficientes, devido ao aumento da área superficial (BORTOLASSI, 2019).

Figura 17 - Imagens de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV) das máscaras cirúrgicas.



Assim, verificou-se que o respirador F apresentou permeabilidade muito próxima à das máscaras cirúrgicas A95%, A98%, C1 e do respirador E, mas quando se compara o resultado da eficiência de filtração e a queda de pressão, os resultados não são próximos. As imagens de MEV permite entender o motivo da máscara obter uma maior permeabilidade e uma alta eficiência de filtração. Pois o fato de a máscara não possuir estes pontos de soldagem, obter fibras com diâmetros menores facilitam que haja a passagem de ar, porém a densidade de fibras aumenta a coleta das partículas presente no ar.

Figura 18 – Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das máscaras PFF.

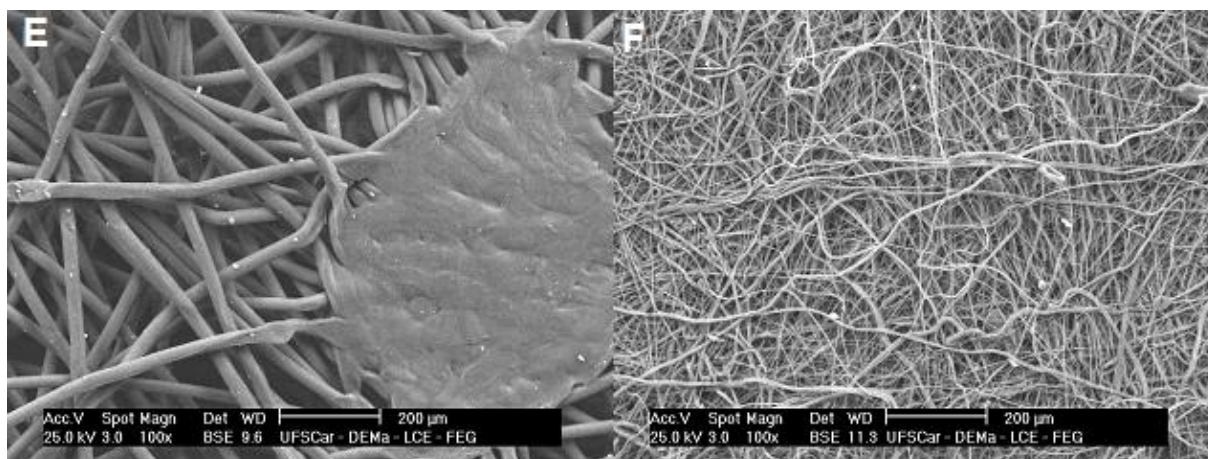


Tabela 14 -Diâmetro das fibras.

Máscaras	Tamanho do diâmetro das fibras (μm)				
	1	2	3	Média	Desvio
A95%	15,89	16,43	16,57	16,30	0,36
A98%	16,50	16,36	17,48	16,78	0,61
B - 1	15,41	14,58	15,10	15,03	0,42
B - 2	9,03	9,47	11,00	9,83	1,03
C1	33,56	22,26	22,29	26,04	6,51
C2	34,62	35,14	33,27	34,34	0,96
D	16,66	16,69	17,44	16,93	0,44
E	27,42	28,37	27,81	27,87	0,48
F	4,92	5,51	5,58	5,34	0,37

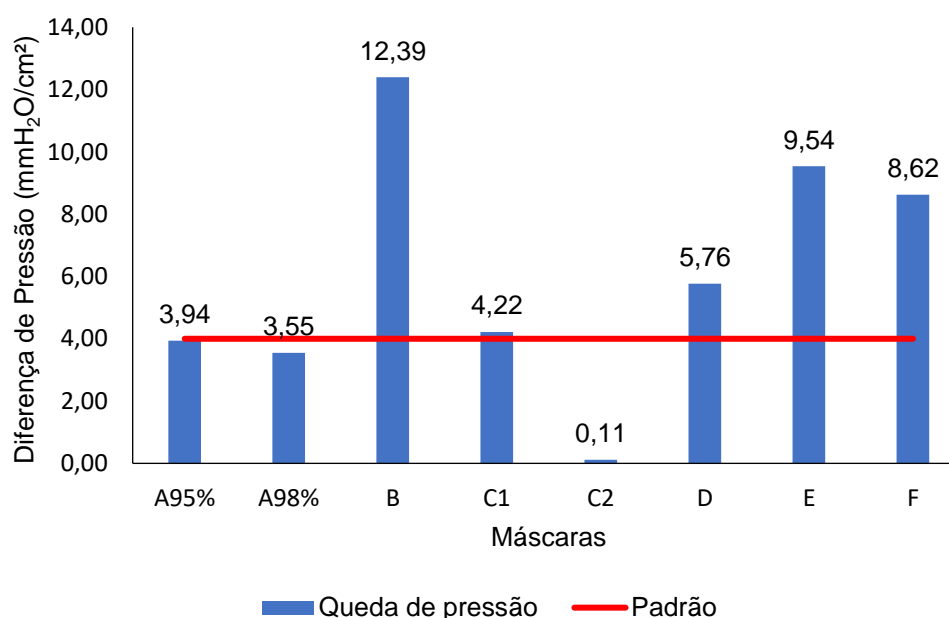
5.5. Queda de Pressão (respirabilidade)

Foi realizado teste de queda de pressão por unidade de área para a vazão de 8 L/min de acordo com as Normas Brasileiras, ABNT NBR 15052 (2004) e ABNT NBR 15052 (2021). Este teste verifica o conforto que a máscara proporciona ao usuário. A combinação dos resultados da eficiência de filtração e da queda de pressão é muito importante, porque a máscara deve ser eficiente e confortável para proporcionar uma melhor proteção ao usuário. Deve-se ressaltar que quanto menor a queda de pressão, melhor é a respirabilidade do tecido da máscara, o que torna a máscara mais confortável para o usuário. Apesar da análise de queda de pressão por unidade de área não ter sido alterada com a mudança da norma, outros padrões, para outras variáveis, foram estabelecidos na norma publicada em 2021, como já discutido anteriormente. Dessa forma, os resultados foram tratados de acordo com a norma que

estava vigente durante a realização dos testes e os resultados de cada amostra estão descritos nas Tabela 21 e Tabela 24 no Apêndice.

A Figura 19 e Figura 20 apresentam os resultados de queda de pressão por unidade de área obtidos para as máscaras que foram submetidas ao teste de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 15052 (2004), em que a máscara deveria obter um valor de queda de pressão inferior ou igual a 4 mmH₂O/cm² (39,2 Pa/cm²). Já os resultados apresentados na Figura 21 estão apresentados de acordo com os parâmetros obtidos utilizando a norma ABNT NBR 15052 (2021), 49,03 Pa/cm² (5,0 mmH₂O/cm²).

Figura 19 - Queda de Pressão das máscaras segundo a norma brasileira ABNT NBR 15052 (2004).



Na Figura 19 está apresentado um gráfico com os valores de queda de pressão por unidade de área das máscaras que foram testadas segundo a Norma ABNT NBR 15052 (2004) sem a presença das dobradiças. É possível observar que as máscaras A95%, A98% e C1 apresentaram os valores de queda de pressão por unidade de área próximos ao limite estabelecido pela norma (4 mmH₂O/cm²). Além disso, essas três máscaras apresentaram eficiência de filtração próximo a 50%, para a vazão de ar de 28 L/min. Já a máscara C2 (máscara de uso não profissional) apresentou o menor valor de queda de pressão por unidade de área, de 0,11 mmH₂O/cm² para vazão de 28 L/min. Nota-se que a máscara B apresentou um valor de queda de pressão por unidade de área 3 vezes maior ao permitido pela norma. Por fim, a máscara D ultrapassou o limite de queda de pressão por unidade de área, mas ela foi mantida

para os testes das próximas etapas, para analisar melhor a influência deste tipo de máscara nos resultados de eficiência e respirabilidade. Dessa forma, para os próximos testes, ao analisar a combinação da queda de pressão e eficiência de filtração, as máscaras B e C2 foram retiradas por apresentarem resultados muito discrepantes em relação às demais máscaras.

Relacionando a permeabilidade e a queda de pressão, a máscara C2 foi a que obteve menor queda de pressão por unidade de área e maior permeabilidade. Já que quanto maior a permeabilidade, maior é a facilidade de o ar passar pela máscara, dessa forma a queda de pressão será menor. O contrário foi obtido para a máscara B, que apresentou a menor permeabilidade, ou seja, maior dificuldade que o ar encontra ao passar pela máscara, obtendo assim o maior valor de queda de pressão por unidade de área.

As máscaras denominadas de E e F são os respiradores e são classificados como PFF2, logo são máscaras que proporcionam maior proteção quando comparado com a máscara cirúrgica. Ela é própria para proteger contra aerossóis e particulados muito finos, diferentemente da máscara cirúrgica. Devido a isso, é normal para este tipo de máscara apresentar valores de queda de pressão por unidade de área superior ao que é permitido para máscaras cirúrgicas. As máscaras (respiradores) E e F apresentaram valores de queda de pressão por unidade de área de 9,54 mmH₂O/cm² (93,56 Pa/cm²) e de 8,62 (84,56 Pa/cm²), respectivamente. Estes resultados são considerados adequados para o tipo de EPI que eles representam. Ao comparar estes valores de quedas de pressões por unidade de área com os das outras máscaras, constata-se que a máscara B, mesmo sendo uma máscara cirúrgica, obteve o maior valor de queda de pressão por unidade de área, do que as máscaras (respiradores) E e F.

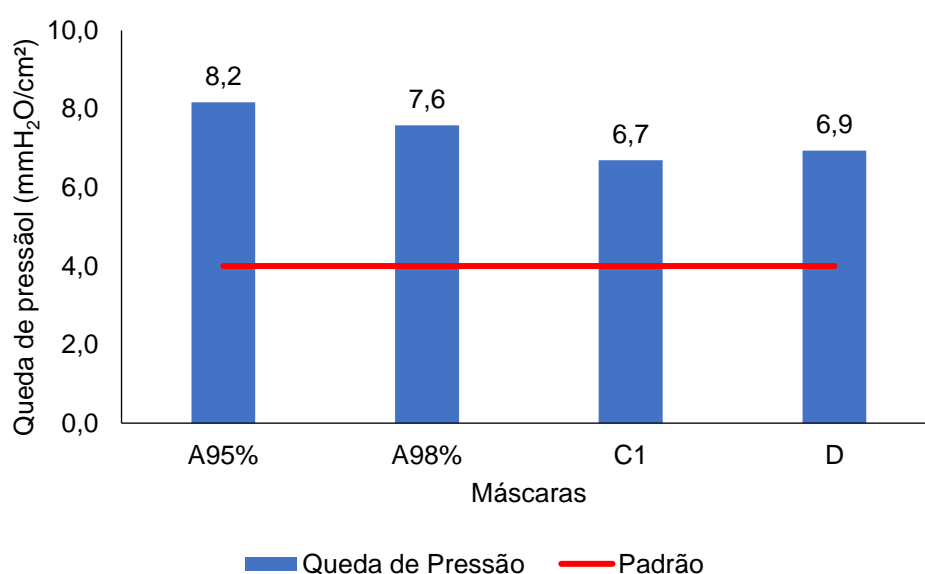
Apesar dos respiradores E e F obterem queda de pressão maior que 2x do que as máscaras A95%, A98% e C1 a permeabilidade destas cinco máscaras foram próximas. Isto é justificado pelos respiradores apresentarem espessuras maiores que as máscaras cirúrgicas. Uma vez que o cálculo da permeabilidade está relacionado a espessura do meio filtrante. Dessa forma, a relação de queda de pressão e de permeabilidade é um pouco diferente para os respiradores.

Testar respiradores nas condições das máscaras cirúrgicas foi importante, porque permitiu observar que mesmo sendo mais eficientes eles podem apresentar

valores de queda de pressão por unidade de área menores do que os obtidos por algumas máscaras cirúrgicas disponíveis no mercado, como foi o caso da máscara B, por exemplo.

A Norma ABNT NBR 15052 (2004) sugeria que os testes fossem realizados com as dobradiças, logo também foram realizados testes para avaliar os resultados que poderiam ser obtidos nestas condições. Os resultados de queda de pressão por unidade de área para estes testes estão descritos na Figura 20. Nota-se que as máscaras que anteriormente apresentavam resultado próximo ao permitido excederam bastante o limite recomendado pela norma ($4 \text{ mmH}_2\text{O}/\text{cm}^2$). Os valores de queda de pressão por unidade de área obtidos para as máscaras A95% e A98% dobraram de valores quando comparados com os resultados alcançados para os testes sem as dobradiças (Figura 19). Este aumento se deve a presença das dobradiças, pois uma máscara com essas dobradiças possui 3 camadas de tecido da máscara. A Figura 15 mostra como as máscaras foram preparadas nos dois testes e é possível visualizar a diferença da espessura das máscaras com as dobradiças. Uma questão importante evidenciada ao comparar todos os resultados, foi que o valor da queda de pressão por unidade de área para a máscara D não teve um aumento expressivo com a presença das dobradiças, como foi constatado para os das outras máscaras.

Figura 20 - Queda de pressão das máscaras com a presença de dobradiças.

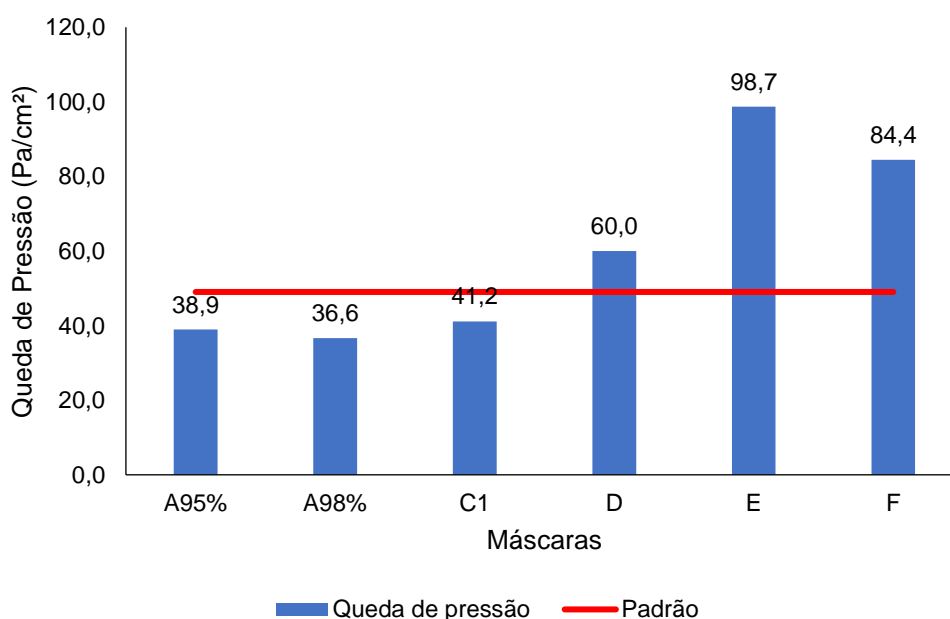


Com a realização deste teste, como a norma de 2004 propunha, com as máscaras com as dobradiças, nenhuma máscara teria resultado dentro do padrão

estabelecido pela norma. Este teste estava fora de contexto, porque para que a máscara seja realmente eficiente e proteja o usuário, ela deve estar muito bem ajustada ao rosto e, para que isto ocorra, deve estar totalmente aberta, ou seja, sem a presença das dobradiças. No tópico que será discutido a eficiência de filtração, será possível avaliar melhor os resultados. Ao comparar os resultados de queda de pressão por unidade de área e permeabilidade, conclui-se que a máscara A95% foi a máscara que obteve maior queda de pressão por unidade de área e menor permeabilidade, o que já era esperado, devido a resistência à passagem do ar pela máscara. Logo, quanto maior a permeabilidade, maior é a capacidade do ar passar pela máscara, resultando em uma máscara com maior conforto ao usuário, mesmo em condições extremas da respiração.

A Figura 21 apresenta os resultados de queda de pressão por unidade de área segundo a norma brasileira vigente após agosto de 2021. A norma atual classifica as máscaras, de acordo com as especificações baseadas na eficiência de filtração das máscaras, em níveis 0 e 1, estas devem apresentar eficiência de filtração, para partículas menores que 100 nm, até 95%, enquanto as máscaras de nível 2 e 3 devem obter 98% de eficiência de filtração, sob as mesmas condições experimentais. Desta forma, o padrão que seria aplicado para estas máscaras seriam as de nível 0 e nível 1, pois as máscaras não alcançaram os 95% de eficiência de filtração, que será discutido no próximo tópico.

Figura 21 - Queda de Pressão das máscaras segundo a norma ABNT NBR 15052 (2021).



Observa-se na Figura 21 que com os novos parâmetros as máscaras A95%, A98% e C1 obtiveram resultados inferiores ao limite estabelecido pela norma de 2021. Já a máscara D continua apresentando valores de queda de pressão por unidade de área superiores ao estabelecido pela norma vigente, porém se a máscara D se adequasse à máscara de nível 2 ou de nível 3, o valor de queda de pressão por unidade de área estaria próximo ao limite proposto pela norma, que é de 58,84 Pa/cm². Já os respiradores E e F apresentaram valores de queda de pressão por unidade de área quase duas vezes maior ao padrão utilizado como referência, porém por serem respiradores isto já era esperado.

Como dito anteriormente, uma máscara com alta queda de pressão por unidade de área, ou seja, baixa respirabilidade, pode causar falta de ar e muito incômodo ao ser utilizada, levando a pessoa a passar a mão na máscara constantemente, na tentativa de ajustar melhor a máscara ao rosto e diminuir o incômodo, algo que não é recomendado, porque este procedimento aumenta muito as chances de contágio. Dessa forma, para que a máscara seja de boa qualidade ela precisa apresentar bons resultados para eficiência de filtração e baixa queda de pressão por unidade de área, facilitando a respirabilidade e proporcionando maior conforto ao ser utilizada, minimizando o contato das mãos na máscara.

Para o teste de queda de pressão por unidade de área, a Norma Brasileira, ABNT NBR 15052 (2021), descreve bem como o teste deve ser realizado, sendo apresentado mais detalhes do experimento, como por exemplo: a área em que os testes devem ser realizados. A vazão a ser utilizada neste teste é de 8 L/min, sendo um pouco maior do que a vazão de ar especificada para a respiração de pessoas em repouso. Logo, para caracterizar as máscaras, esta vazão de ar de 8 L/min faz mais sentido, visto que as máscaras cirúrgicas são utilizadas por profissionais da saúde que estão realizando suas atividades diárias normais, que não necessitam de muito esforço físico que elevam a respiração.

5.6. Eficiência de filtração

Os resultados aqui apresentados estão de acordo com as normas vigentes para máscaras cirúrgicas. Inicialmente foi utilizada a norma brasileira ABNT NBR 15052 (2004), que estava em vigor no início do trabalho, e, posteriormente, utilizou-se a norma brasileira atual a ABNT NBR 15052 (2021), que teve algumas alterações em

relação à norma anterior de 2004. Foram realizados 5 testes diferentes de eficiência de filtração, como apresentado na Tabela 8 e estes testes serão discutidos a seguir, apresentando comparações a partir das modificações.

5.6.1. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2004) com nanopartículas de Látex

Os testes iniciais foram realizados seguindo a Norma Brasileira ABNT NBR 15052 (2004), vigente no início deste estudo. Devido a inconsistência dos resultados, os testes foram refeitos e os resultados preliminares foram descartados. Para os testes de eficiência, a máscara D não foi utilizada, porque os resultados apresentados dos testes anteriores, de permeabilidade e queda de pressão por unidade de área, não foram satisfatórios para uma máscara cirúrgica. As partículas utilizadas para determinar a eficiência das máscaras foram as nanopartículas de látex de 100 nm e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 22 e descritos na Tabela 15. Os resultados de cada amostra e estão descritos detalhadamente na Tabela 22.

Segundo Torloni e Vieira (2003) a atividade respiratória de uma pessoa que está realizando trabalho médio é de 29,2 L/min, ou seja, apesar da vazão de 28 L/min ser estabelecida devido a uma condição do equipamento que recomendam ser utilizado está próximo a um valor de atividade de trabalho médio (TORLONI; VIEIRA, 2003).

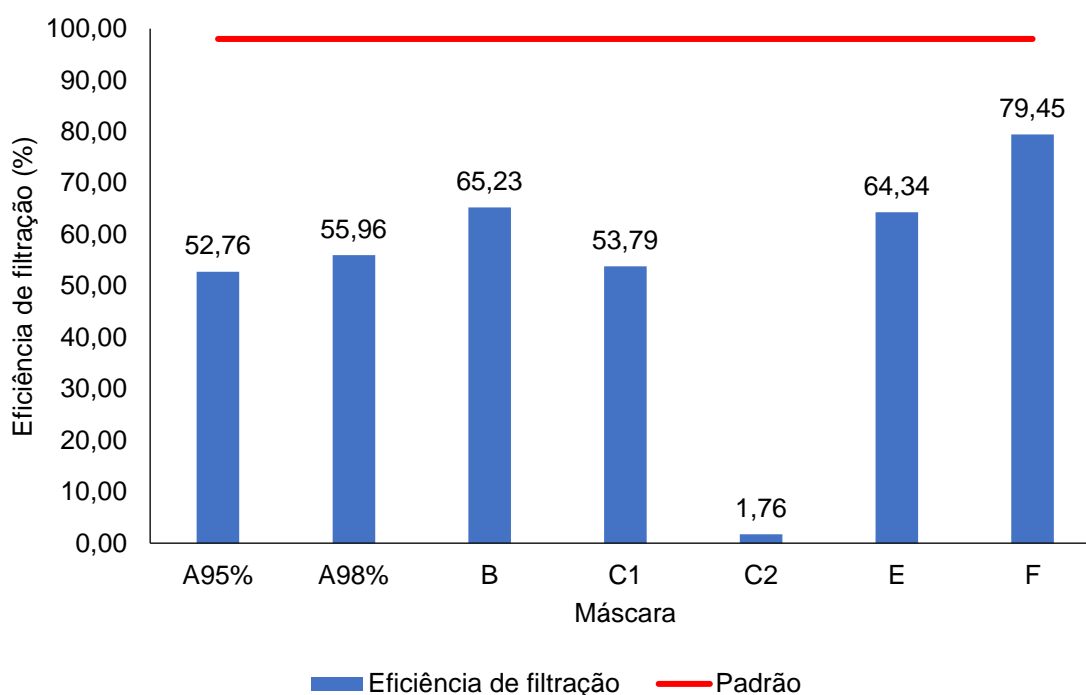
Tabela 15 - Resultados encontrados utilizando partículas de Látex conforme o teste da norma brasileira ABNT NBR 15052 (2004).

Empresa	Pressão diferencial		Padrão (mmH ₂ O/cm ²)	Eficiência de filtração		Padrão (%)
	Pa/cm ²	mmH ₂ O/cm ²		%	Desvio	
A95%	39,49	4,03	4	53,10	0,91	98
A98%	35,45	3,61	4	55,68	0,51	98
B	127,03	12,95	4	65,36	0,81	98
C1	41,29	4,21	4	53,85	0,80	98
C2	1,10	0,11	4	1,80	0,41	98
E	93,56	9,54	4	64,34	1,39	98
F	87,89	8,62	4	79,45	1,53	98

Verifica-se na Figura 22 que as máscaras da Empresa A (A95%; A98%), que têm suas especificações dos produtos descritas na caixa com eficiências de 95% e de 98% para partículas de 100 nm. No entanto, os resultados obtidos de eficiência foram de 52,76% e 55,96%, respectivamente. A máscara C1 (95%EFB e 98% EFP) também

apresentou uma eficiência de filtração de 53,79%, resultado bem próximo dos resultados atingidos para as máscaras da empresa A. A máscara da empresa B foi a que apresentou o melhor resultado de eficiência de filtração, dentre as máscaras cirúrgicas investigadas aqui, com o valor máximo de 65,23%. A máscara C2, de uso não profissional, apresentou resultado de eficiência de filtração muito baixo, sendo apenas de 1,76%, e foi a máscara que obteve a menor queda de pressão por unidade de área. Por fim, também foram testados dois respiradores (denominados de máscaras E e F) para análise de comparação. É possível verificar que o respirador E e F apresentaram o maior desempenho, 64,34% e 79,45%, respectivamente. Este resultado não era o esperado, por serem respiradores e deveriam apresentar uma melhor eficiência, ou seja, acima de 95% para partículas de 100 nm.

Figura 22: Testes de eficiência de filtração utilizando partícula de Látex e vazão de 28 L/min.



Avaliando os resultados na Figura 22, as máscaras A95%, A98% e C1 apresentaram valores de eficiência de filtração próximo a 50% e valores de quedas de pressão por unidade de área (respirabilidade) também foram próximos, em torno de 4 mmH₂O/cm². Porém, analisando os resultados de eficiência e de respirabilidade, observa-se que a máscara A98% foi a que apresentou melhor desempenho nos dois testes. Já a máscara C2 foi a que obteve menor valor de eficiência de filtração e de queda de pressão por unidade de área. Já a máscara B foi a que apresentou o maior valor de eficiência de filtração entre as máscaras cirúrgicas, sendo até mesmo superior

ao do respirador E, porém, a queda de pressão por unidade de área foi 3 vezes maior que o estabelecido pela norma.

Verifica-se também que o melhor valor de eficiência de filtração foi para o respirador F, apresentou permeabilidade próxima das máscaras cirúrgicas e a queda de pressão foi superior ao que é permitido pela norma de máscaras cirúrgicas, mas por ser um respirador a queda de pressão ser superior é esperado. Dessa forma, o respirador F foi o que alcançou maior proteção contra partículas de 100 nm e maior conforto para o usuário. A imagem de MEV deste respirador, apresentado na Figura 18, corrobora com estes resultados, já que o diâmetro das fibras, para este respirador F, foram bem menores e as fibras estavam dispostas de forma mais aleatória, formando uma estrutura mais homogênea, o que facilitou a coleta das partículas nas fibras.

5.6.2. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2004) com nanopartículas de NaCl

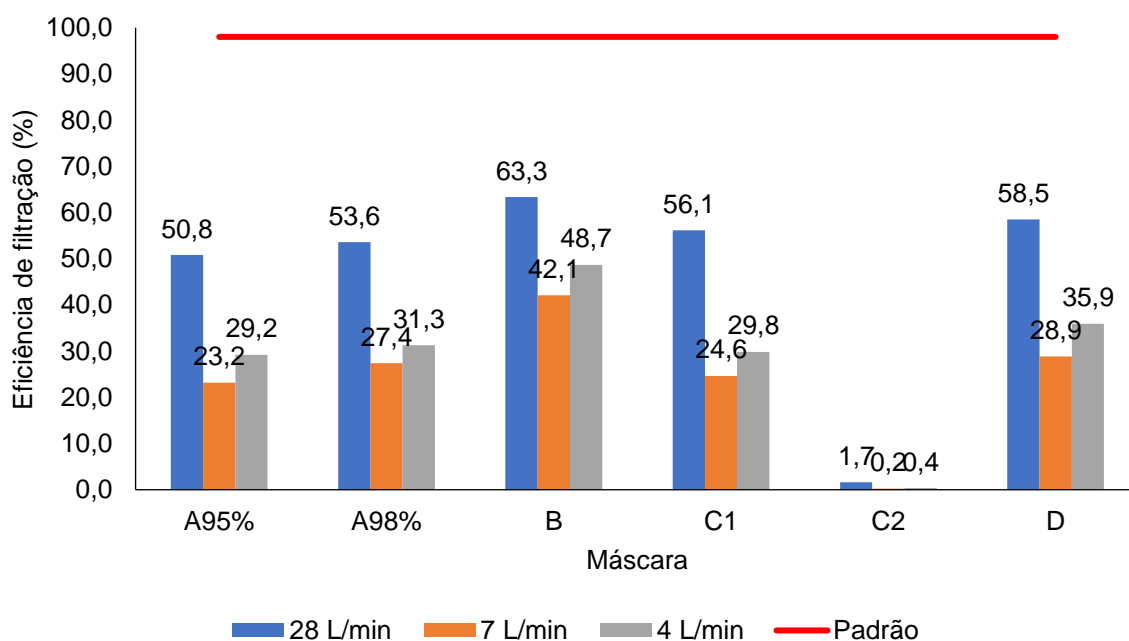
Estes testes foram realizados utilizando nanopartículas de NaCl (100 nm), vazão de ar de 28 L/min, para comparar com os resultados obtidos utilizando as nanopartículas de Látex. Também foram utilizadas vazões de 7 e 4 L/min, para avaliar a influência da vazão de ar nos resultados de eficiência de filtração, e por estas vazões ser as estabelecidas, para os testes de eficiência de filtração, pela Norma Americana (ASTM F2299 (2017)), e, assim, comparar as normas Brasileira e Americana. Os resultados obtidos utilizando nanopartículas de NaCl para as 3 vazões estão apresentados na Figura 23 e descritos na Tabela 16. Os resultados de cada amostra e de acordo com cada partícula utilizada estão descritos detalhadamente na Tabela 22.

Comparando os resultados apresentados na Figura 22 com a Figura 23, para a vazão de 28 L/min, verifica-se que utilizando as nanopartículas de Látex a eficiência de filtração foi um pouco superior às obtidas quando as nanopartículas de NaCl foram utilizadas. Como já comprovado na Tabela 12 em que a geração das partículas de Látex diminui com o tempo, logo os testes realizados com nanopartículas de Látex podem apresentar aumento na eficiência de filtração.

Sabe-se que a respiração humana de uma pessoa que se encontra em repouso é de 6 L/min (HYLDGÅRD, 1994) a vazão de 7 L/min é a que mais se aproxima.

Analisando os resultados de eficiência para as nanopartículas de NaCl, nota-se que ao diminuir a vazão de ar para 7 L/min eficiência de filtração caiu consideravelmente. Para as máscaras das empresas C, D e A95% esta queda na eficiência de filtração foi de aproximadamente de 50%. Novamente, a máscara da empresa B foi a que obteve o melhor resultado de eficiência de filtração, bem como a menor redução de eficiência de filtração com a variação das vazões de ar. As eficiências de filtração para a máscara da empresa B foram em torno de 63% para a vazão de 28 L/min, de 42% para a vazão de 7 L/min e de 49% para a vazão de 4 L/min, com redução de aproximadamente 21% na eficiência de filtração. Já a máscara da empresa C2, de uso não profissional, a eficiência de filtração foi muito baixa para as vazões testadas, praticamente estas máscaras não apresentaram eficiência de filtração, sendo assim uma máscara ineficiente para partículas de 100 nm. A máscara que obteve o segundo melhor resultado foi a máscara da empresa D, em que a eficiência de filtração foi em média de 58% para a vazão proposta pela Norma Brasileira.

Figura 23 - Eficiência de filtração de nanopartículas de NaCl de acordo com a norma ABNT NBR 15052 (2004).



Verificou-se que a eficiência de filtração para as máscaras cirúrgicas analisadas foi muito baixa, mesmo para a menor vazão de ar, que pode ser considerada, quando a pessoa está em repouso e/ou realizando trabalho leve. Este teste foi realizado avaliando apenas partículas de 100 nm. No entanto, a máscara cirúrgica são indicadas para proteção contra patógenos transmitidos por gotículas à curta distância e pela

projeção de sangue ou de fluido corpóreo (ANVISA, 2009), logo, para esta finalidade, considerando a realização de testes utilizando gotículas na faixa micrométrica, estas máscaras cirúrgicas sejam adequadas para serem utilizadas.

Verifica-se na Figura 23 que os resultados de eficiência de filtração atingidos para a vazão de 4 L/min e, conseqüentemente, velocidade superficial de filtração menor, a eficiência de filtração aumentou quando a vazão de ar foi de 7 L/min para 4 L/min, para quase todas as máscaras das diferentes empresas aqui investigadas, exceto para a máscara C2, de uso não profissional, que diminuiu. Para explicar este comportamento foi calculado o número de Reynolds para cada vazão e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 17. Segundo a Norma Americana ASTM F2299 (2017) é importante manter o número de Reynolds inferior a 1000 para manter o escoamento em regime laminar. Dessa forma, determinou-se, para a vazão de 28 L/min, o número de Reynolds, sendo o valor obtido de 1596,7, superior ao que é proposto na Norma Americana. Esse alto número de Reynolds pode interferir nos mecanismos de coleta das partículas, que passam a se movimentarem de forma mais aleatória, facilitando o choque entre as partículas e as fibras, aumentando assim a eficiência de filtração, o que pode justificar a queda da eficiência de filtração quando a vazão diminui de 28 L/min, para 7 L/min.

Tabela 16 - Eficiência de filtração de nanopartículas de NaCl de acordo com a norma ABNT NBR 15052 (2004).

Empresa	Eficiência de Filtração							Pressão diferencial		
	28 L/min		7 L/min		4 L/min		Padrão (%)	8 L/min		Padrão (mmH ₂ O/cm ²)
	%	Desvio	%	Desvio	%	Desvio		mmH ₂ O/cm ²	Desvio	
A95%	51,3	1,3	24,9	4,1	30,9	3,4	98	3,9	0,5	4
A95%	51,4	0,3	22,8	3,1	27,1	1,9	98	3,8	0,1	4
A95%	49,7	0,3	21,9	3,4	29,6	1,7	98	3,8	0,2	4
A98%	53,0	1,1	25,1	2,1	30,1	1,3	98	3,5	0,1	4
A98%	54,1	1,8	29,7	2,4	32,5	3,5	98	3,9	0,1	4
B	62,9	0,8	41,6	1,8	48,8	2,1	98	11,6	0,5	4
B	63,7	2,5	42,5	3,1	48,5	2,5	98	12,1	0,4	4
C1	55,3	0,5	23,4	3,8	29,1	4,4	98	4,2	0,3	4
C1	56,9	1,8	25,9	2,1	30,6	2,1	98	4,2	0,3	4
C2	1,7	1,2	0,3	0,9	0,3	0,4	98	0,1	0,0	4
C2	1,6	0,7	0,2	0,2	0,5	0,1	98	0,1	0,0	4
D	57,0	0,9	26,1	2,4	32,9	2,9	98	5,2	0,1	4
D	59,9	0,8	31,6	1,6	38,9	1,9	98	6,1	0,4	4

Já para as vazões de 7 e 4 L/min os números de Reynolds foram de 399,2 e 114,1, respectivamente. Estes valores ficaram abaixo de 1000, como sugere a norma Americana. Neste caso, observa-se que, com o decréscimo da vazão de ar, a eficiência de filtração aumentou, comportamento que era esperado, devido ao regime de escoamento laminar. Isto porque, neste regime de escoamento, as forças viscosas são predominantes, as partículas escoam suavemente seguindo a mesma trajetória do fluido (ar). No entanto, quando o fluido encontra a fibra, ele desvia e continua a sua trajetória normal, já a partícula ela pode ter dificuldade de desviar da fibra juntamente com o fluido, devido a força de arraste, e quanto menor for a velocidade de escoamento, mais difícil será para a partícula vencer esta força, fazendo com que ela choque mais facilmente com a fibra do coletor, acarretando no aumento da eficiência de filtração. A disposição das fibras no meio filtrante, bem como o diâmetro delas, também podem contribuir para aumentar o número de partículas coletadas nas fibras, devido à influência dos mecanismos de coleta, apresentados no item 3.3.1, do capítulo 3 da revisão bibliográfica. Por isso todos esses pontos levantados influenciam na variação da eficiência de filtração com a variação da vazão (ou da velocidade superficial de filtração

Tabela 17 - Reynolds para cada vazão utilizado durante os testes.

Vazão (L/min)	Velocidade de face (m/s)	Viscosidade (kg/ms)	Diâmetro (m)	Densidade (kg/m ³)	Reynolds
28	0,9553	0,0000184	0,02494	1,2922	1596,7
7	0,2388				399,2
4	0,0682				114,1

A justificativa, para as máscaras investigadas neste estudo não alcançar eficiências de filtração próximas às que são exigidas pelas normas, pode estar relacionada ao equipamento utilizado para determinar a eficiência de filtração para partículas de 100 nm. O contador de partículas que foi utilizado, do Laboratório de Controle Ambiental da UFSCar, é o Ultrafine Condensation Particles Counter (model 3776), possui uma eficiência bem superior ao contador de partículas que a norma brasileira sugeria. O contador de partículas proposto pela norma é o Contador de Partículas de Aerossol (lasair III 110), que possui uma eficiência de contagem de 50% para partículas de 100 nm (PMS LPC-110, 2016), enquanto que o contador utilizado aqui (TSI 3776, 2006) possui uma eficiência de filtração próximo a 100% para partículas de 100 nm. Dessa forma, devido a este fator de eficiência de

aproximadamente 100% do contador Ultrafine Condensation Particles Counter, torna os resultados de eficiência de filtração encontrados neste estudo mais precisos e próximos da realidade.

De forma geral, constata-se que independentemente da vazão de ar utilizada nos testes, as máscaras obtiveram o mesmo padrão na eficiência de filtração, sendo a da empresa B a mais eficiente, independente das vazões utilizadas, e a da empresa C2, de uso não profissional, a de menor eficiência. Portanto, devido a esses resultados as máscaras das empresas B e da C2 foram descartadas para serem utilizadas nos próximos testes, por obterem uma alta queda de pressão e uma baixa eficiência de filtração, respectivamente.

5.6.3. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2004) com a presença das dobradiças

Este teste foi realizado pois a Norma Brasileira vigente até julho de 2021 sugeria que os testes fossem realizados utilizando as dobradiças das máscaras. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 25 e Tabela 18. Os resultados de cada amostra estão descritos detalhadamente na Tabela 22.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 18, observa-se que a eficiência de filtração aumentou para todas as máscaras, apresentando valores superiores a 60% para a vazão de 28 L/min. Nota-se que todas as máscaras apresentaram uma queda da eficiência de filtração com a diminuição da vazão. A vazão que obteve menor eficiência foi a de 7 L/min, mesmo comportamento encontrado e justificado nos testes em que a máscara foi testada aberta (sem as dobradiças). Mas observa-se que, mesmo aumentando a espessura das máscaras, com as dobradiças, a eficiência de filtração continuou inferior ao padrão estipulado pelas normas, com o agravante do aumento da queda de pressão por unidade de área (piora da respirabilidade), que praticamente dobrou este valor. No entanto, o aumento da eficiência de filtração foi bem menor e não seguiu esta proporção de aumento da queda de pressão por unidade de área. Vale ressaltar, a importância da combinação entre estes parâmetros para uma ótima máscara, ou seja, baixa queda pressão por unidade de área e alta eficiência de filtração, proporcionando ao usuário conforto e proteção.

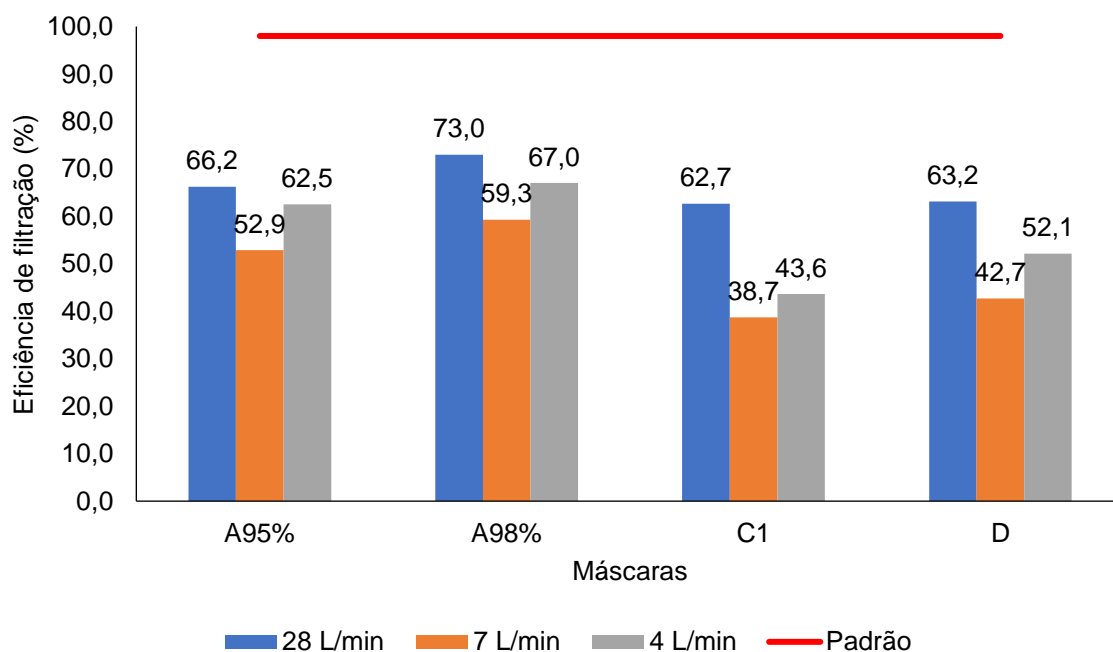
É importante salientar que nenhuma pessoa utiliza a máscara com a presença de dobradiças, pois ao colocá-la no rosto é importante abrir a máscara e ajustá-la ao rosto, de tal maneira que cubra totalmente o nariz, a boca e queixo, para proporcionar uma maior proteção ao usuário (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2020). Dessa forma, a máscara fica esticada, sem a presença das dobradiças, como simulado na Figura 24, o que torna os testes com as máscaras cirúrgicas com dobradiças desnecessários.

Figura 24 - Simulação de como se utiliza as máscaras.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2022)

Figura 25 - Teste realizado com a presença de dobradiça de acordo com a norma ABNT NBR 15052 (2004).



Avaliando os resultados para os experimentos utilizando a vazão de ar de 7 L/min, com e sem as dobradiças, verifica-se que a máscara A95% e a A98% apresentaram um aumento de 50% de eficiência de filtração para as partículas de 100 nm. Para a vazão de ar 28 L/min e utilizando nanopartículas de Látex (EFP: 79,45% e QP: 8,62 mmH₂O/cm²), as máscaras cirúrgicas com dobradiças alcançaram eficiências de filtração para nanopartículas de 100 nm inferiores à eficiência do respirador F. A máscara cirúrgica com as dobradiças que apresentou a maior eficiência de filtração foi a A98% (EFP:73% E QP: 7,6), provando que para obter melhor eficiência de filtração para este tamanho de partículas (100 nm) é recomendado o uso de respiradores. Visto que os respiradores são mais eficientes para coletar este tamanho de partículas e a queda de pressão por unidade de área apresentou valores bem próximos aos das máscaras cirúrgicas com as dobradiças, além deles se ajustarem muito melhor ao rosto.

Tabela 18 - Teste realizado com a presença de dobradiça de acordo com a norma ABNT NBR 15052 (2004).

Empresa	Eficiência de Filtração							Pressão diferencial		
	28 L/min		7 L/min		4 L/min		Padrão	8 L/min		
	%	Desvio	%	Desvio	%	Desvio		mmH ₂ O/cm ²	Desvio	Padrão
A95%	68,9	0,2	56,4	3,6	67,2	4,7	98	9,4	1,0	4
A95%	66,5	1,7	53,2	4,4	64,2	9,3	98	8,1	0,4	4
A95%	63,3	2,6	49,1	6,4	56,0	5,5	98	6,9	2,3	4
A98%	71,4	0,9	56,7	8,0	66,0	2,5	98	6,1	0,9	4
A98%	72,0	2,8	57,0	10,7	62,7	4,0	98	7,5	1,5	4
A98%	75,5	1,1	64,3	3,1	72,3	1,2	98	9,2	0,7	4
C1	62,5	0,5	38,4	6,4	39,3	6,8	98	6,6	0,8	4
C1	62,8	0,2	34,7	1,6	47,0	2,3	98	6,8	0,5	4
C1	62,7	1,0	43,1	2,4	44,7	1,0	98	6,7	0,7	4
D	63,2	2,0	44,5	1,4	54,9	5,0	98	6,7	0,6	4
D	64,0	2,0	41,3	4,6	54,3	3,5	98	7,2	1,2	4
D	62,3	1,6	42,4	4,3	47,3	3,7	98	6,9	1,8	4

5.6.4. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2021) com a caixa de acrílico

Para analisar a importância do ajuste da máscara ao rosto, foram realizados testes com a cabeça de manequins masculino e feminino, inseridos em uma caixa de acrílico. Os resultados de cada amostra e de acordo com cada partícula utilizada estão descritos detalhadamente na Tabela 23.

Estes experimentos foram executados utilizando os procedimentos propostos pela Norma Americana F2299 (2017), que são os mesmos que são indicados pela nova Norma Brasileira ABNT NBR 15052 (2021). Inicialmente, utilizou-se a caixa de acrílico com a cabeça do manequim masculina. Os experimentos foram realizados para três velocidades de face, de acordo com os sugeridos pelas normas. Os resultados estão apresentados na Tabela 19 e Figura 26.

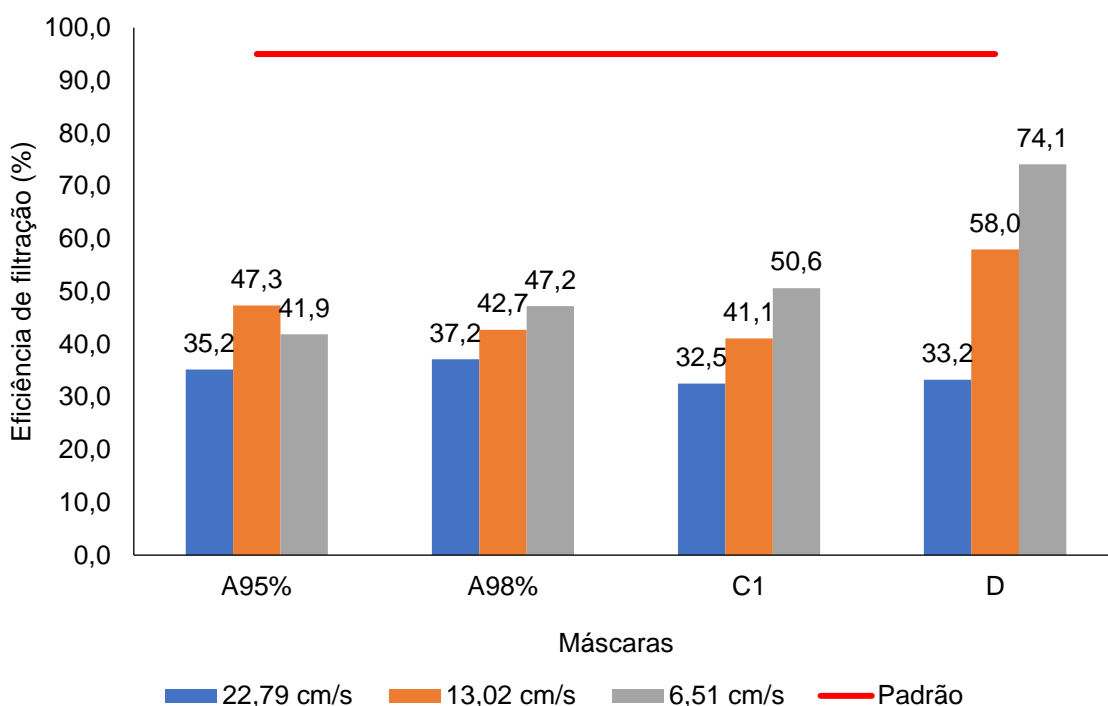
A máscara da empresa D conseguiu uma boa eficiência de filtração se comparada com a eficiência alcançada para as demais máscaras, porém esta eficiência foi inferior ao que é estipulado pelas normas. Verifica-se que todas as máscaras alcançaram valores de eficiência de filtração próximos a 32%, para os experimentos realizados com a velocidade face de 22,79 cm/s. Constata-se, também, que as máscaras que atingiram a menor eficiência de filtração e a maior variação dos resultados, durante a realização dos experimentos, foram as da empresa das máscaras A95% e A98%. Para estas máscaras a eficiência de filtração decaiu quando a velocidade de filtração reduziu de 13,02 cm/s para 6,51 cm/s. Este resultado é o oposto do que era esperado, talvez esta redução da eficiência tenha ocorrido pelo incorreto ajuste da máscara no manequim masculino.

Tabela 19 - Eficiência de filtração de nanopartículas de NaCl, utilizando a cabeça de manequim.

Empresa	Eficiência de Filtração		
	22,79 cm/s	13,02 cm/s	6,51 cm/s
	%	%	%
A95%	35,5	60,9	56,2
A95%	38,1	56,5	40,1
A95%	27,9	58,6	30,9
A95%	39,2	13,3	40,2
A98%	33,3	56,4	40,9
A98%	36,5	58,9	50,1
A98%	42,8	54,1	58,9
A98%	38,3	25,1	43,4
A98%	34,9	19,1	42,6
C1	36,9	50,2	55,7
C1	32,2	36,3	49,9
C1	28,5	36,8	46,3
D	33,8	56,8	73,9
D	33,3	57,0	74,4
D	32,6	60,2	74,0

É possível constatar através dos resultados alcançados que as máscaras das empresas C1 e D aumentaram a eficiência de filtração com a diminuição da velocidade superficial, resultado que era esperado e já discutido anteriormente. Porém, as máscaras das empresas A95% e A98% obtiveram a melhor eficiência de filtração para a velocidade face (velocidade superficial de filtração), de 13,02 cm/s, e a eficiência de filtração diminuiu quando a velocidade de filtração decaiu, para 6,51 cm/s. Este decréscimo da eficiência da máscara pode estar relacionado com o ajuste da máscara ao rosto.

Figura 26 - Eficiência de filtração de nanopartículas de NaCl, utilizando a cabeça de manequim.



Para analisar o ajuste das máscaras cirúrgicas em diferentes rostos, utilizou-se um manequim masculino, com o rosto maior, tanto na altura como na largura, e um manequim feminino, que apresenta um rosto menor e mais fino. Estas diferenças podem ser constatadas na Figura 27, que mostra uma foto com as duas cabeças dos manequins. Observou-se que as máscaras cirúrgicas, no rosto do manequim feminino, não se ajustaram adequadamente, elas ficaram mais soltas, o que provoca maior vazamento de ar durante os experimentos, tanto nos de queda de pressão por unidade de área, como nos de eficiência de filtração.

Os resultados alcançados utilizando a cabeça feminina e a masculina estão apresentados na Figura 28. Nesta figura, a especificação M e os resultados obtidos para o manequim masculino e F para o feminino. Como durante os testes foram

realizadas réplicas, as máscaras foram enumeradas a fim de diferenciar uma máscara da outra. Dessa forma, cada máscara foi definida por um número e pela empresa em que ela foi adquirida, como por exemplo: 59 (D).

Figura 27 - Cabeças de manequins utilizadas durante os testes.



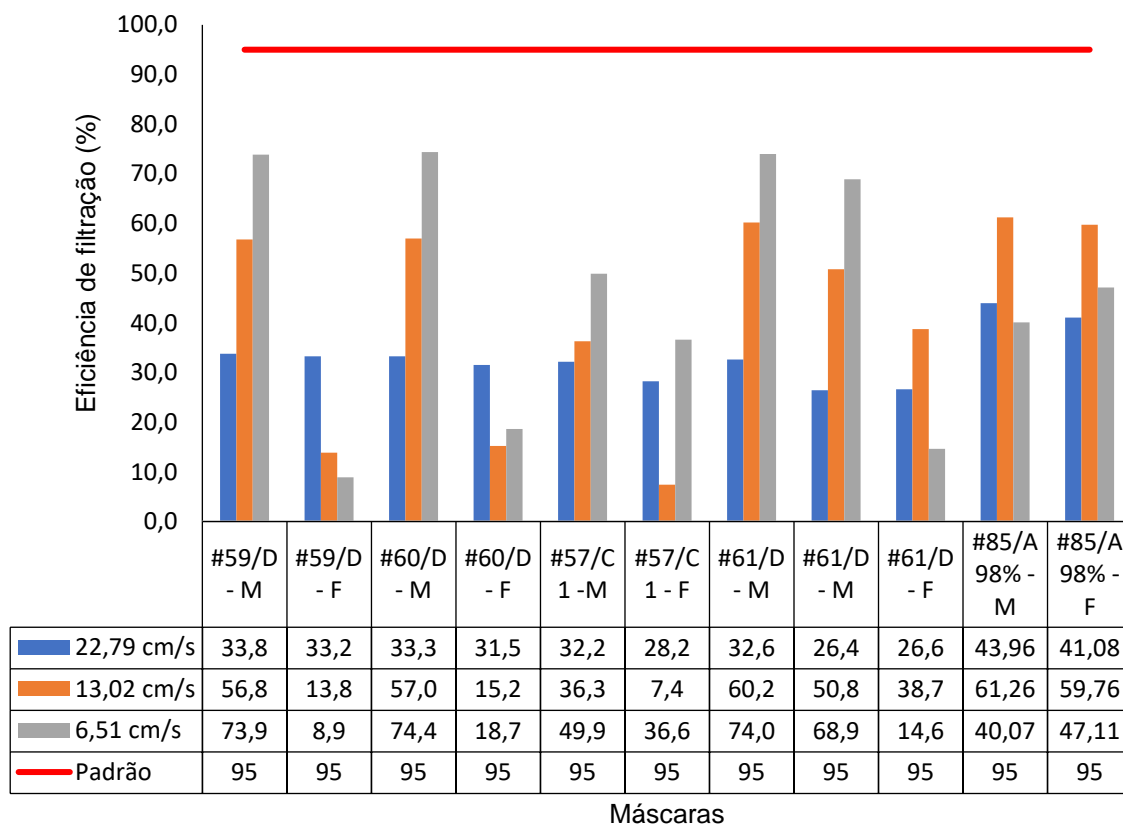
(Fonte: Arquivo pessoal, 2022)

Avaliando os resultados apresentados na Figura 27, para todas as máscaras testadas nos dois manequins, verifica-se que, para a velocidade de filtração maior (22,79 cm/s), o ajuste da máscara ao rosto não influenciou na eficiência de filtração para as partículas de 100 nm, que ficou praticamente constante para os dois manequins. Entretanto, para as velocidades de filtração de 13,02 cm/s e 6,51 cm/s, o ajuste da máscara ao rosto interferiu diretamente nos resultados de eficiência de filtração. As máscaras 59 (D), 60(D), 61 (D),57 (C1) apresentaram comportamentos de eficiência de filtração parecidos. Para o manequim masculino as eficiências de filtração aumentaram com a diminuição da velocidade, resultado esperado, e de acordo com os apresentados anteriormente. Já para os resultados encontrados de eficiência de filtração das máscaras cirúrgicas, utilizando o manequim feminino, observa-se que a eficiência de filtração foi, em quase todas as máscaras cirúrgicas, menor quando a velocidade de filtração reduziu de 13,02 cm/s para 6,51 cm/s. Para a Máscara 60 (D) e 57 (C1) a eficiência de filtração aumentou com a queda da velocidade de 13,02 para 6,51 cm/s, mas o valor obtido foi inferior ao resultado encontrado com o manequim masculino.

Também, verificou-se que os resultados de eficiência de filtração obtidos para as máscaras A95% e A98%, corrobora com os resultados apresentados anteriormente (Figura 26) que estas máscaras não se ajustaram adequadamente ao rosto dos

manequins, interferindo diretamente na eficiência de filtração destas máscaras, tanto ao ser utilizada no manequim masculino como no do feminino, levando o decaimento da eficiência de filtração com a redução da velocidade.

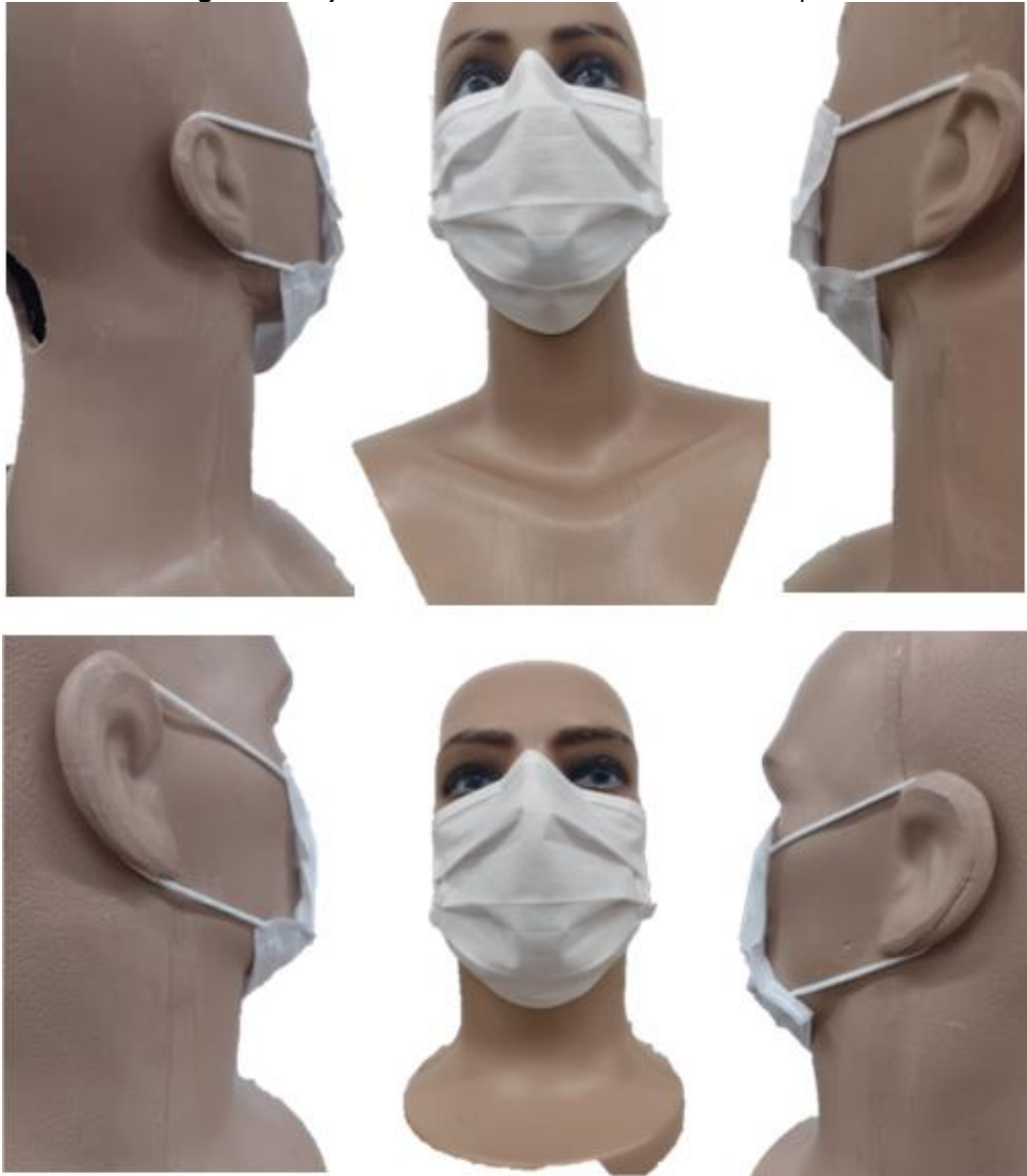
Figura 28 - Comparação do ajuste ao rosto da cabeça feminina e cabeça masculina.



■ 22,79 cm/s ■ 13,02 cm/s ■ 6,51 cm/s — Padrão

O ajuste das máscaras C1 e D nos manequins feminino e masculino foram muito diferentes e isto pode ser constatado nas Figura 29 e Figura 30, respectivamente. A máscara C1 apresentou um ajuste melhor nos manequins feminino e masculino ao se comparar ao ajuste da máscara D nos manequins feminino e masculino. Entretanto, verifica-se que a máscara C1 apresenta algumas aberturas próximo ao queixo, principalmente no manequim feminino. No ajuste da máscara D no rosto dos manequins, é possível visualizar que a máscara D ficou totalmente solta no rosto do manequim feminino, não apresentando nenhum ajuste nas laterais do rosto e nem no queixo. Já no rosto masculino o ajuste foi melhor, resultando em um resultado de eficiência de filtração melhor para este rosto.

Figura 29 - Ajuste da máscara C1 no rosto dos manequins.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2022)

Esta análise do ajuste ao rosto é muito importante, pois comprova como todos os componentes das máscaras são importantes, como a alças/tiras/elásticos. Avaliar apenas o tecido que a máscara é composta não é o suficiente para validar que as máscaras são eficientes e que de fato irão proteger as pessoas. Cada pessoa possui um formato de rosto e a máscara que protege bem uma pessoa, pode não proteger com a mesma eficiência a outra pessoa.

Figura 30 - Ajuste da máscara D no rosto dos manequins.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2022)

A máscara 85 (A98%) apresentou comportamento de eficiência de filtração diferente ao obtido pelas outras máscaras. Os dois manequins apresentaram resultados de eficiência de filtração bem parecidos e esta máscara se ajustou melhor no rosto destes manequins. A máscara A98% foi a máscara que apresentou melhor ajuste ao rosto do manequim feminino como apresentado na Figura 31. Logo, pode-se concluir que este comportamento da diminuição da eficiência de filtração com a velocidade superficial está relacionado ao ajuste facial da máscara. Aquela que apresentou o melhor ajuste, apresentou o melhor desempenho nos testes aqui realizados.

Figura 31 - Ajuste da máscara A98% no rosto dos manequins.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2022)

5.6.5. Testes realizados de acordo com ABNT NBR 15052 (2021)

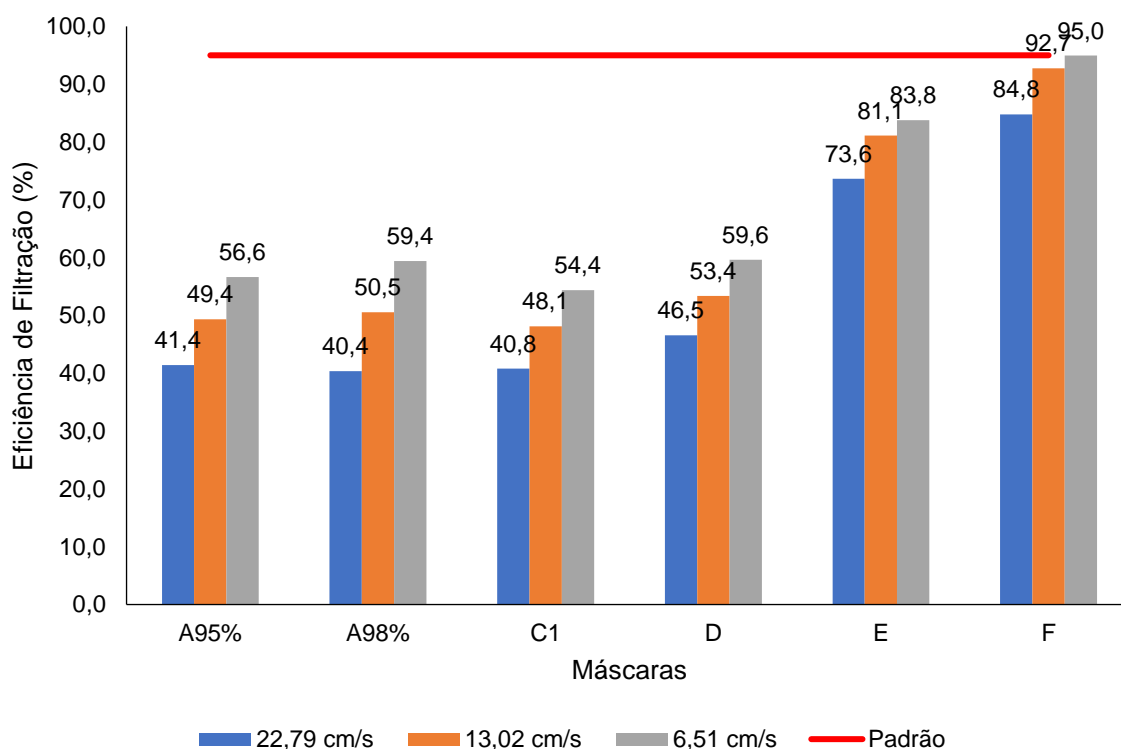
As máscaras testadas neste experimento foram as mesmas máscaras utilizadas no teste da caixa de acrílico com as cabeças dos manequins e as máscaras E e F foram adicionadas para analisar a diferença dos resultados entre máscaras cirúrgicas e respiradores. Os testes foram realizados utilizando o suporte de amostra, com partículas entre 8,2 e 289 nm e os resultados estão apresentados na Figura 32 e Tabela 20 e os resultados de cada amostra estão descritos detalhadamente na Tabela 25Tabela 22. Pode-se observar que as máscaras apresentaram o comportamento de

eficiência de filtração esperado, ou seja o aumento da eficiência de filtração com a diminuição da velocidade de face.

De modo geral, pode-se verificar que a máscara cirúrgica que apresentou maior eficiência foi a máscara D, porém todas obtiveram resultados próximos. A menor eficiência de filtração encontrada para esta máscara foi de 40,4%, obtida para a maior velocidade de filtração, de 22,79 cm/s, e a maior eficiência alcançada foi de 59,6%, obtida para a menor velocidade de filtração de 6,51 cm/s. As eficiências de filtração para todas as máscaras cirúrgicas, para a menor velocidade de filtração (6,51 cm/s), variaram entre 54,4% até 59,6%, sendo os valores mais altos em relação às outras velocidades de filtração.

O respirador E apresentou resultados de eficiência de filtração crescente com a diminuição da velocidade de filtração. Observa-se que esta máscara apresentou o melhor desempenho, o que era esperado para um respirador, que deve ser eficiente na filtração de nanopartículas. Verifica-se que para a velocidade de 6,51 cm/s, o respirador E apresentou uma eficiência de filtração para partículas de 100 nm de 83,8%.

Figura 32 - Resultados dos testes realizados segundo a ABNT NBR 15052 (2021).



Avaliando a máscara F, nota-se que foi a única que atingiu ao valor estipulado pela norma, 95%, mas isto só ocorreu para a menor velocidade superficial. O fato de

a norma permitir uma variação grande com relação a velocidade de face, dificulta atender e padronizar as máscaras apresentadas no mercado. A máscara F corrobora com isso, visto que houve uma variação de 10,8% da eficiência de filtração da mesma máscara, apenas variando a velocidade de face. Estes resultados comprovam que seria mais eficiente a norma definir uma velocidade de face que atenda ao que é necessário para uma máscara. Assim sendo, obrigaria os fabricantes de máscaras cirúrgicas padronizarem os seus produtos, apresentando uma qualidade superior para estas máscaras, e assim dando mais proteção ao usuário.

Tabela 20 - Resultados obtidos pelas máscaras durante os testes segundo a ABNT NBR 15052 (2021).

Amostra	Marca	Eficiência de Filtração						Pressão diferencial			
		22,79 cm/s		13,02 cm/s		6,51 cm/s		Padrão (%)	Pa/cm ²	Desvio padrão	Padrão (Pa/cm ²)
		%	Desvio	%	Desvio	%	Desvio				
Amostra 47	A95%	41,2	3,5	50,5	4,4	56,8	4,2	95,0	38,7	1,7	49,03
Amostra 48	A95%	42,1	3,1	50,6	2,3	60,7	2,8	95,0	40,7	4,3	49,03
Amostra 49	A95%	41,0	5,1	46,9	4,2	52,3	2,9	95,0	37,5	2,2	49,03
Amostra 50	A98%	36,7	1,3	48,9	2,1	57,3	3,2	95,0	34,2	1,7	49,03
Amostra 51	A98%	42,3	3,3	51,1	2,2	60,0	2,8	95,0	35,9	0,9	49,03
Amostra 52	A98%	42,2	2,6	51,7	1,9	60,8	1,2	95,0	39,7	1,2	49,03
Amostra 56	C1	42,2	2,6	49,2	2,6	55,6	3,2	95,0	40,03	1,2	49,03
Amostra 57	C1	43,2	4,7	49,7	5,6	55,0	3,9	95,0	42,34	2,71	49,03
Amostra 58	C1	37,1	3,2	45,4	4,3	52,5	3,4	95,0	41,08	2,67	49,03
Amostra 59	D	49,1	2,7	55,6	2,9	61,3	1,8	95,0	61,16	2,77	49,03
Amostra 60	D	44,0	1,1	51,2	2,4	57,9	2,9	95,0	58,8	5,48	49,03
Amostra 79	E	75,4	0,9	82,8	1,6	86,0	1,3	95,0	98	9,89	49,03
Máscara 80	E	71,9	2,6	79,4	3,2	81,5	2,7	95,0	99,43	5,88	49,03
Máscara 83	F	86,1	0,3	93,8	0,5	95,8	0,8	95,0	89,68	6,25	49,03
Máscara 84	F	83,5	2,1	91,7	0,6	94,2	0,5	95,0	79,17	0,69	49,03
Máscara 85-1	A98%	42,1	2,9	49,0	3,5	60,7	2,2	95,0	33,26	2,00	49,03
Máscara 85-2	A98%	42,8	4,5	50,3	5,1	57,7	2,7	95,0			49,03

É possível comparar com os resultados da caixa de acrílico (Figura 26) com os do suporte (Figura 32). A comparação dos resultados apresentados nos permite observar a diferença de eficiência de filtração e analisar a influência do ajuste da máscara ao rosto do manequim. Comparando os resultados apresentados na Figura 26 e Figura 32 observa-se que as máscaras A95%, A 98% e C1 apresentaram um aumento da eficiência em todas as velocidades de face. Logo é possível calcular a influência dos vazamentos presentes devido ao ajuste do rosto. A máscara D apresentou uma melhora considerável para a velocidade de 22,79 cm/s, porém, para

as outras duas velocidades, a eficiência de filtração foi inferior. Devido a isso, alguns testes utilizando a caixa de acrílico foram realizados para confirmar se os resultados obtidos estavam corretos ou se houve algum problema durante a execução das análises e que não havia sido percebido.

Ao realizar os testes, foi possível concluir que os resultados apresentados aqui estão corretos e o que justifica este comportamento da máscara D é a distância que as amostras de partículas são coletadas para a realização dos testes, como representado na Figura 33. Como já explicado, com a adição da caixa de acrílico no sistema, foi necessário que todas as coletas para a contagem de partículas fossem realizadas no ponto após a caixa e a distância da cabeça até este ponto é de 85 cm. Com a presença da máscara e uma baixa velocidade, facilita que as partículas permaneçam dentro da caixa, não chegando ao coletor, aumentando a eficiência de filtração das máscaras. Ou seja, isto só prova que as recomendações dos órgãos de saúde, de utilizar máscaras e manter o distanciamento social, devem ser cumpridas ao mesmo tempo para maior proteção da população (ANVISA Nº 04, 2020; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020).

Figura 33 - Distância da cabeça até o ponto de coleta das partículas.



(Fonte: Arquivo pessoal, 2022)

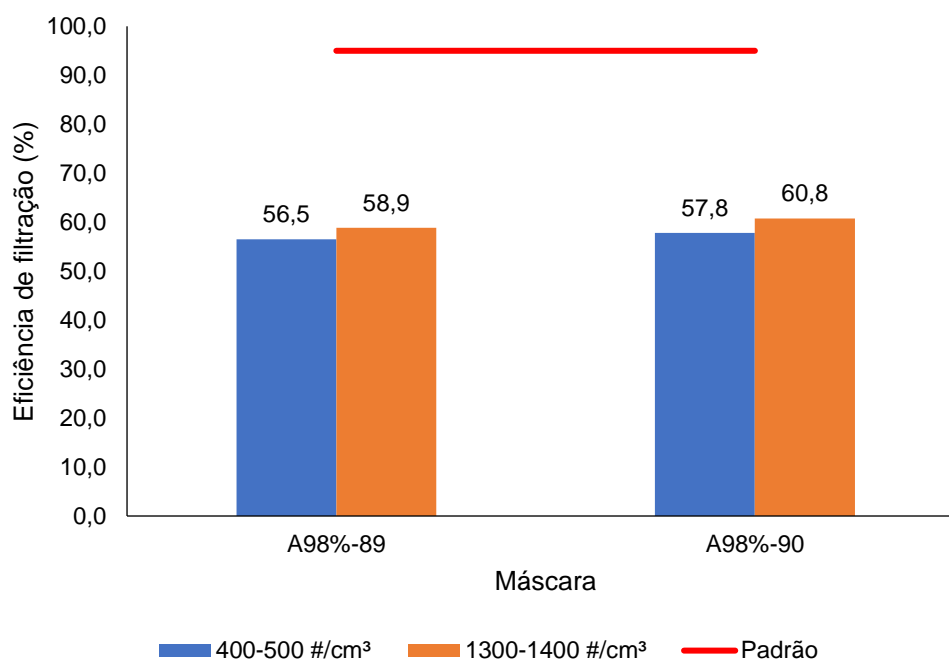
5.6.6. Avaliação da interferência da geração das partículas no teste de eficiência de filtração

Para avaliar a influência da quantidade de partículas que são geradas, foi realizado testes com a máscara A98%, variando a concentração das partículas. Foi realizado o teste com duas concentrações, para as partículas de látex e NaCl e os resultados estão apresentados na Figura 34 e Figura 35, respectivamente. O teste utilizando Látex foi realizado da mesma forma que o teste 1 foi realizado, avaliando

partículas de látex com 100 nm, na vazão de 28 L/min. E o teste com NaCl foi realizado da mesma forma que o teste 5, avaliando partículas de NaCl com tamanho de 8,2 a 289 nm, nas vazões de 7, 4 e 2 L/min.

A concentração 2 foi 2,5-3 vezes maior que a concentração 1, para avaliar a real interferência da quantidade de partículas no desempenho da máscara. Nota-se que para as duas partículas os resultados de eficiência de filtração foram muito próximos, mesmo com a variação da concentração. Este resultado mostra que a essa variação da concentração de partículas não interfere diretamente nos testes de eficiência realizados para as máscaras. Nota-se que os resultados encontrados aqui foram próximos aos resultados para as máscaras A98%, que foram submetidas as mesmas condições experimentais.

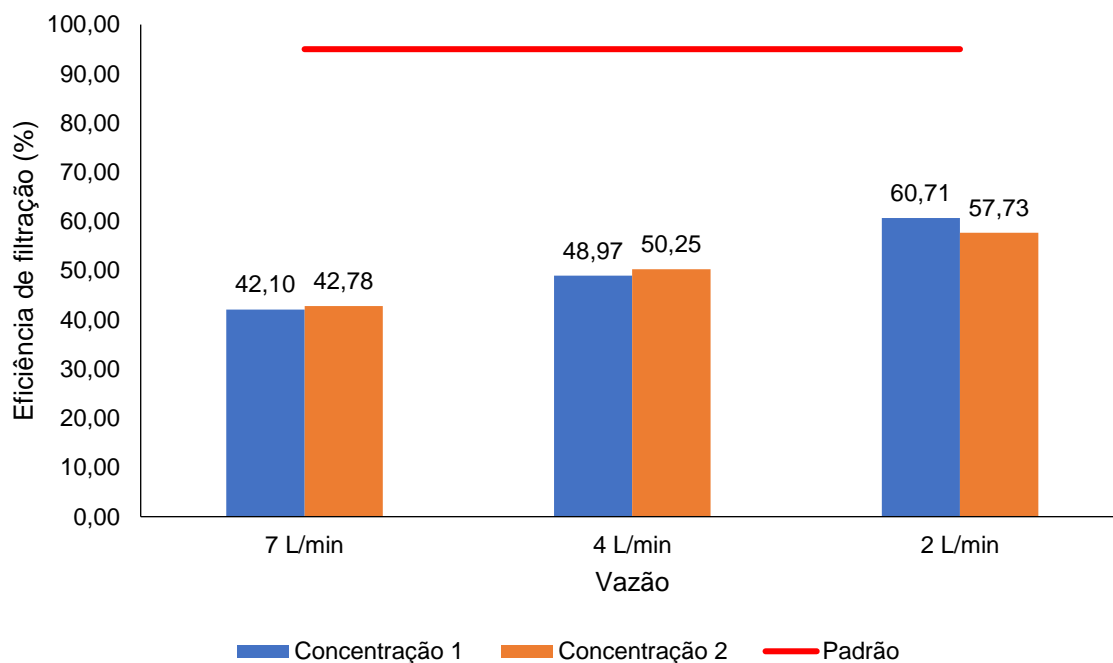
Figura 34 - Resultado com a variação da geração das partículas de Látex.



Porém, vale ressaltar que durante um teste, no início dos estudos, observou-se que houve uma alta geração das partículas e isso provocou um aumento da pressão do sistema e da eficiência de filtração de partículas rapidamente. A grande geração de partículas obstruiu os poros do meio filtrante, aumentando cada vez mais a retenção das partículas, devido às interações entre as partículas. Esta situação acarretou o aumento da eficiência de filtração e da queda de pressão do sistema durante a realização dos testes.

Devido a este ocorrido, foi avaliado o que estava causando esta grande geração de partículas e ajustou-se o sistema para que os testes fossem realizados de forma a não ter este tipo de interferência.

Figura 35 - Resultado com a variação da geração das partículas de NaCl.



5.6.7. Eficiência de filtração com distribuição das partículas

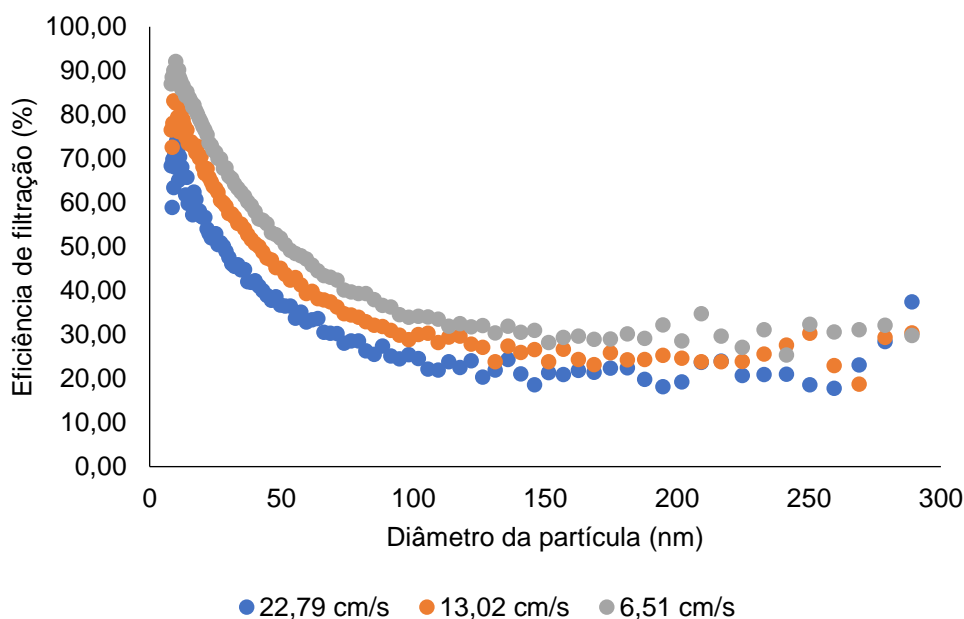
Outra forma de avaliar o desempenho das máscaras é analisar a eficiência da máscara de acordo com o tamanho da partícula. Dessa forma, os resultados obtidos nos testes com a norma atual foram tratados com a intenção de aferir a eficiência de filtração de acordo com o tamanho das partículas, na faixa de 8,2 a 289 nm.

Analisando os resultados de forma geral, observa-se o mesmo comportamento que já foi apresentado, a eficiência de filtração de partículas foi menor quanto maior a velocidade superficial de filtração. Este comportamento é ainda mais claro para as partículas menores que 100 nm. O que explica este comportamento é o efeito browniano, mecanismo de filtração mais importante para partículas menores de 100 nm. O efeito browniano é o dominante para partículas menores que 100 nm e está relacionado diretamente com a velocidade superficial, quanto menor a velocidade maior a eficiência de filtração (CURY 1983 *apud* TANABE, 2011).

As Figura 36 e Figura 37 apresentam os resultados dos experimentos realizados para as máscaras da empresa A. As duas máscaras apresentaram um

ponto máximo na distribuição. Mesmo sendo máscaras da mesma empresa e terem apresentado resultados próximos, quando se avaliou a eficiência de filtração para a partícula de 100 nm, o comportamento da eficiência de filtração destas máscaras em função do diâmetro das partículas foi muito diferente.

Figura 36 - Eficiência de filtração da máscara A95% de acordo com o diâmetro das partículas.



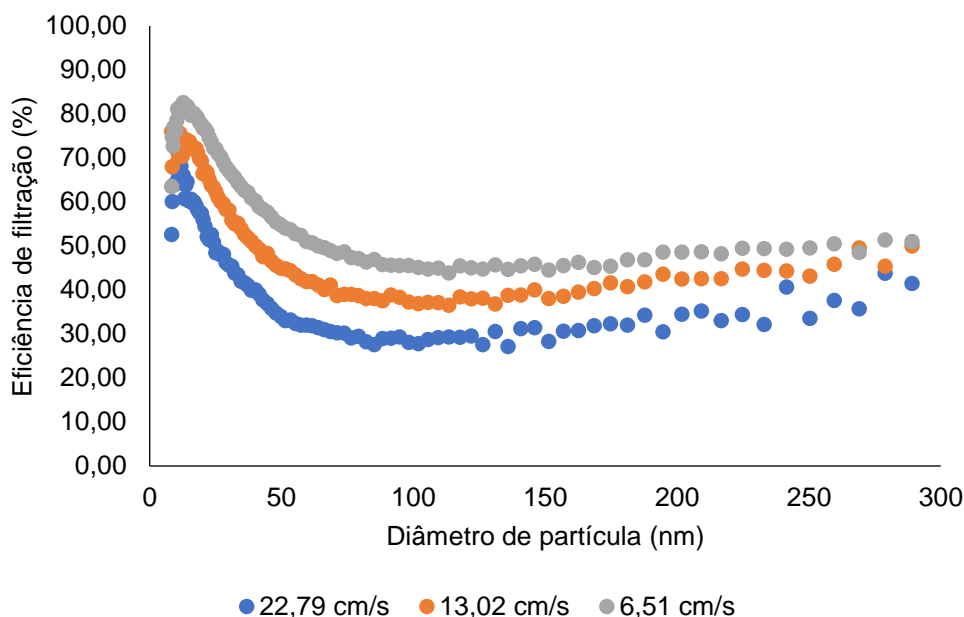
A máscara A95% (Figura 36) apresentou maior variação da eficiência de filtração. Para a velocidade de 6,51 cm/s a maior eficiência de filtração foi de 92% para partículas de 9,82 nm e a menor eficiência de filtração foi de 25,3% para partículas de 241,4 nm. Já para a velocidade de 22,79 cm/s a maior eficiência de filtração foi de 74,01% (10,2 nm) e a menor 17,77% (259,5 nm).

Já a máscara A98% (Figura 37) apresentou uma variação menor da eficiência de filtração. Para a velocidade de 6,51 cm/s a maior eficiência de filtração foi de 82,6%, para partículas de 12,6 nm, e a menor eficiência de filtração foi de 43,9%, para partículas de 113,4 nm. Já para a velocidade de 22,79 cm/s a maior eficiência de filtração foi de 73,4% (10,2 nm) e a menor 27,12% (135,8 nm).

Comparando os resultados obtidos para as duas máscaras, observa-se que a eficiência de filtração da máscara A95% foi diminuindo com o aumento das nanopartículas, até alcançar o tamanho da nanopartícula de aproximadamente 100 nm, permanecendo praticamente constante ou apresentando um leve aumento, para partículas maiores que 100 nm. A menor eficiência de filtração foi alcançada para partículas em torno de 260 nm. Além disso, a máscara apresentou uma queda na

eficiência de filtração em torno de 65% entre a maior e menor eficiência encontrada. Já a máscara A98% apresentou a menor eficiência de filtração para o tamanho das nanopartículas próximo a 130 nm e depois houve um ligeiro aumento com o aumento das nanopartículas. E a variação entre a maior e menor eficiência de filtração foi em torno de 40%.

Figura 37 - Eficiência de filtração da máscara A98% de acordo com o diâmetro das partículas.



A máscara C1 (Figura 38) exibiu uma grande variação do seu desempenho de eficiência de filtração, com a variação do tamanho das nanopartículas. Para a velocidade de 6,51 cm/s a maior eficiência de filtração foi de 95,3% (para partículas de 8,2 nm) e a menor eficiência de filtração foi de 21,2% (250,3 nm), com variação de 74% entre o menor e maior valor. A maior eficiência de filtração foi obtida para a velocidade de filtração menor, de 6,51, variando entre 16,2 a 85,7%.

A máscara D (Figura 39) foi a máscara cirúrgica que apresentou a maior eficiência de filtração nos experimentos realizados anteriormente (46-59,6%), mas foi a máscara que apresentou a maior variação da eficiência de filtração para essa faixa de nanopartículas. Para as nanopartículas muito pequenas (8,2-11 nm), apresentou eficiência de filtração de 99%, para as três velocidades de filtração. Porém atingiu o valor de eficiência de 17,4% e 28% para as velocidades de 22,79 e 6,51 cm/s, respectivamente. Ou seja, a variação de 79,7% entre a maior e menor eficiência de filtração.

Os respiradores E e F apresentaram um comportamento diferente das máscaras cirúrgicas. Avaliando o resultado da máscara E (Figura 40) observa-se que a eficiência de filtração de 100% para as três velocidades e com o aumento do tamanho das partículas a eficiência de filtração foi diminuindo atingindo 40,8% para a velocidade de 22,79 cm/s e a 53% para a velocidade de 6,51 cm/s.

Figura 38 - Eficiência de filtração da máscara C1 de acordo com o diâmetro das partículas.

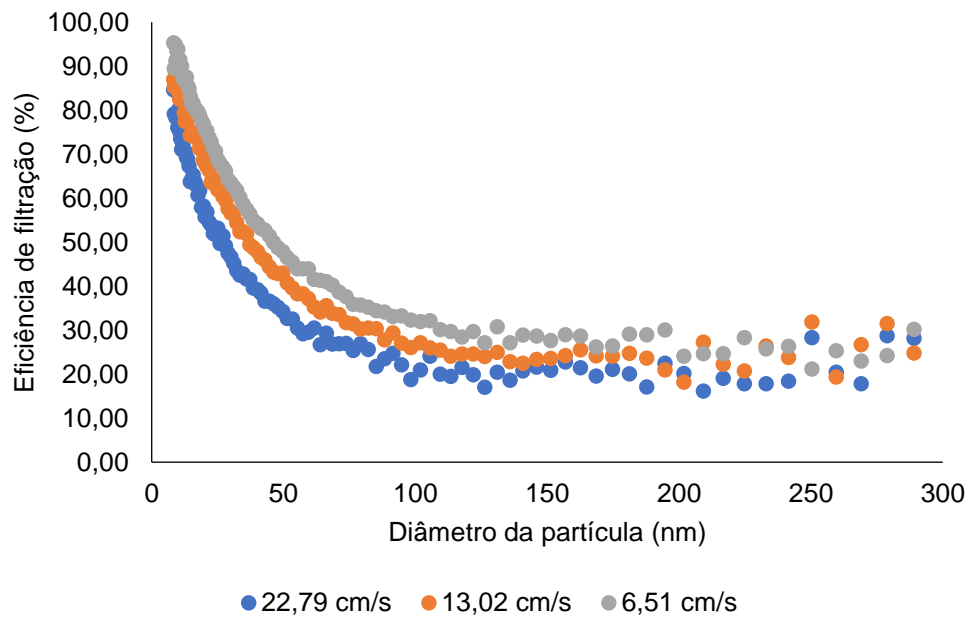
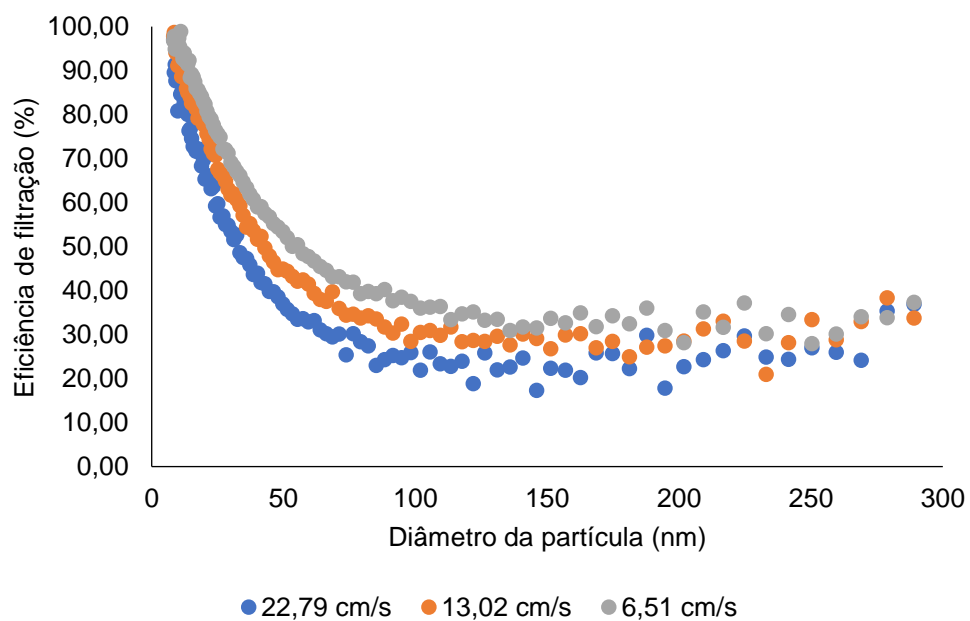
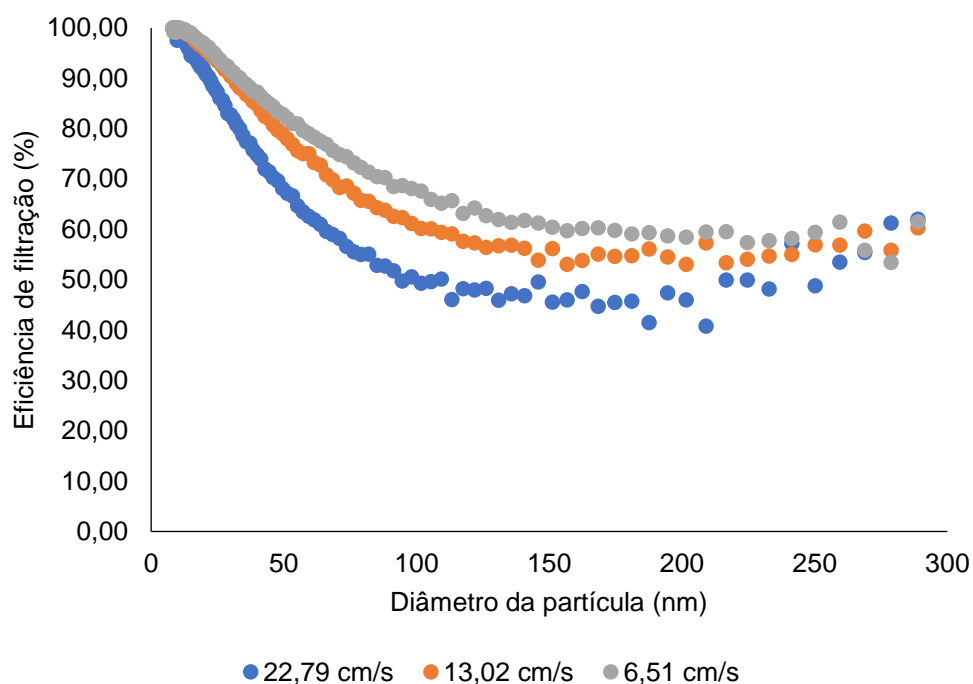


Figura 39 - Eficiência de filtração da máscara D de acordo com o diâmetro das partículas.



A máscara F (Figura 41) apresentou um comportamento diferente das demais. Para as três velocidades a eficiência de filtração foi de 100%, para as menores partículas, e para partículas maiores que 40 nm a eficiência de filtração se manteve praticamente constante, com a eficiência de filtração variando entre 80, 92 e 94,5% para as velocidades de 22,79, 13,02 e 6,51 cm/s, respectivamente.

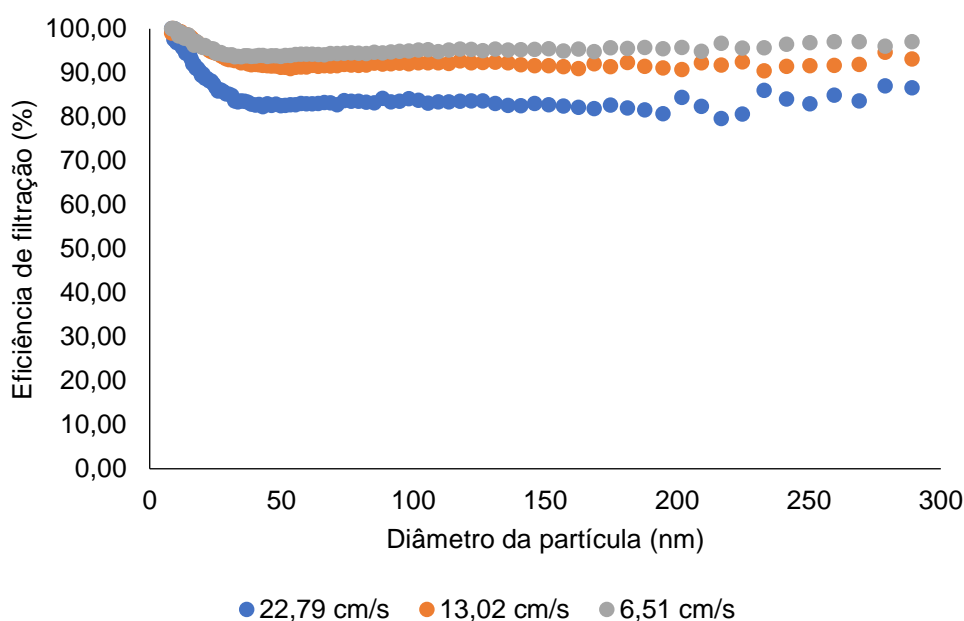
Figura 40 - Eficiência de filtração da máscara E de acordo com o diâmetro das partículas.



O respirador F, foi o que apresentou o melhor resultado de eficiência de coleta em função do tamanho das nanopartículas, tendo uma variação apenas de 20% entre a menor e maior velocidade. O ideal é que as máscaras consigam apresentar ótimo desempenho para todos os tamanhos de partículas, protegendo as pessoas de agentes tóxicos e infecciosos de tamanhos diferentes. Essa capacidade de filtrar as partículas de todos os tamanhos, deste respirador, pode ser explicado também pelas imagens de MEV que foram obtidas para as máscaras e respiradores. O respirador F possui a maior densidade de fibras, com diâmetros das fibras bem menores, em comparação com máscaras cirúrgicas e até mesmo com o respirador E. Estas características do meio filtrante do respirador F favoreceu a coleta das partículas, aumentando o desempenho de filtração desta máscara, e permitindo também, ser a mais eficiente em relação às máscaras cirúrgicas e respiradores investigadas neste estudo.

O respirador E apresentou resultados mais parecidos com os obtidos para as máscaras cirúrgicas. As imagens de MEV obtidas mostram que a estrutura, distribuição, diâmetro das fibras são muito semelhantes com os das máscaras cirúrgicas, corroborando com os resultados obtidos.

Figura 41 - Eficiência de filtração da máscara F de acordo com o diâmetro das partículas.



Dentre as máscaras cirúrgicas, a máscara A98% foi a que obteve o melhor resultado, porque apresentou a menor queda de pressão por unidade de área (maior respirabilidade e conforto), a segunda melhor eficiência de filtração para partículas de 100 nm, e as melhores eficiências de filtração em relação a variação do tamanho do diâmetro das nanopartículas, apresentando a menor variação de eficiência de filtração entre as partículas de menor e maior tamanho, entre as máscaras cirúrgicas. Já entre os respiradores, o F foi o mais eficiente em todos os testes realizados.

5.7. Sugestões para as normas

Após todos os assuntos abordados nesta dissertação, nota-se que as normas técnicas possuem problemas na metodologia dos seus testes. O maior problema do teste é não avaliar a eficiência de filtração de acordo com velocidades/vazões que representam atividades humanas. Se a respiração humana de uma pessoa em repouso, realizando trabalho leve é de 6 L/min (HYLDGÅRD, 1994), não faz sentido utilizar vazões inferiores em testes de máscaras, afinal esta seria a menor atividade que uma pessoa poderia estar fazendo. Dessa forma, todos os testes deveriam ser

realizados para vazões maiores que 6 L/min. A velocidade da tosse é de 10 m/s enquanto a velocidade de um espirro pode variar de 20 a 50 m/s (BONFIM *et al.*, 2021; DUGUID, 1946).

Outro problema que ficou claro durante a realização deste trabalho é não avaliar o ajuste das máscaras ao rosto das pessoas. Os tamanhos dos rostos das pessoas podem variar e então prejudicar o ajuste da máscara ao rosto, diminuindo a eficácia da máscara. Dessa forma, deve-se incluir os testes de ajuste das máscaras ao rosto. Uma sugestão é exigir que as empresas produzam máscaras pensem nas diferenças dos rostos, e fabriquem máscaras que possam se ajustar melhor aos diferentes rostos, sem perder a sua qualidade, proporcionando maior proteção.

Além disso, as normas técnicas deveriam rever o tamanho das partículas para a realização dos testes de eficiência de filtração. Visto que as máscaras cirúrgicas são descritas como proteção contra patógenos transmitidos por gotículas à curta distância e pela projeção de sangue ou de fluido corpóreo (ANVISA, 2009). A norma atual sugere que os testes sejam realizados para partículas entre 100 e 5000 nm. Porém, no item 5.6.7 mostra que as máscaras cirúrgicas possuem baixíssima eficiência para partículas entre 100 e 289 nm. Dessa forma, é muito importante avaliar se as máscaras cirúrgicas devem ser submetidas a estes testes e se sim, avaliar qual a melhor faixa de tamanho das partículas para estes testes.

Avaliando todos estes pontos fica claro que algumas mudanças devem ser realizadas para obter normas padronizadas que permitam que os testes sejam reproduzidos em qualquer ambiente e com precisão. Os pontos principais são:

- O equipamento utilizado deve possuir eficiência de contagem para o tamanho de partículas a serem analisadas;
- Que as vazões/velocidades superficiais sejam definidas de acordo com respiração humana para cada atividade;
- Que avaliem o ajuste ao rosto das máscaras e se preocupem com este parâmetro, visto que ficou provado durante este estudo a influência deste quesito na proteção;
- Que o tamanho das partículas seja definido de acordo com o tamanho das partículas/patógenos que se deseja que a máscara proteja;

- Que a concentração de partículas seja definida de acordo com estudos relacionado a tosse, espirros, atividades respiratórias que promovem alta geração de partículas.

Sendo assim, propõe-se que para o teste de eficiência de filtração de máscaras cirúrgicas haja melhorias na norma atual. Dessa forma, avaliando que as máscaras cirúrgicas são utilizadas para proteção em que as pessoas não estão expostas a condições extremas, como cuidado de pessoas que estão com doenças que possuem alta taxa de transmissão pelas atividades respiratórias não há a necessidade de testar este tipo de máscara com partículas tão pequenas como 100 nm. Assim, deve-se estabelecer que as partículas testadas sejam maiores, testando estas máscaras em condições reais. Bactérias possuem tamanhos que podem variar entre 0,5 e 10 μm e fungos de 0,5 a 30 μm (MORAWSKA, L., 2006). Portanto, o teste deve ser realizado para partículas entre 0,5 e 10 μm representando melhor o tamanho das partículas que as máscaras devem proteger as pessoas.

Deve-se também sugerir a concentração de partículas para estes testes, porque existem estudos que demonstram a relação da quantidade de partículas que são geradas durante a tosse ou até mesmo o espirro. Duguid (1946) concluiu que o espirro produz 10^6 partículas por cm^3 enquanto a tosse gera 5×10^3 partículas por cm^3 . Logo, seria interessante que a geração das partículas seja baseada em torno destes valores, para se aproximar ainda mais dos valores reais das atividades respiratórias.

Fazer testes utilizando velocidades altas para simular uma tosse, espirro é um pouco complicado devido as altas velocidades. Mas, como as máscaras cirúrgicas são recomendadas para proteger as pessoas em ambientes que não estão em contato direto com pessoas contaminadas, pode-se fazer testes utilizando vazões superiores a 6 L/min, já que é a vazão de ar conhecida para a respiração de uma pessoa que está em repouso.

E por fim, os órgãos reguladores devem se preocupar com o ajuste da máscara ao rosto. Ficou provado o quanto interfere na eficiência de filtração e não adianta realizar testes em suportes lacrados se isto não representa a realidade. Os órgãos de saúde devem propor testes para observar a qualidade da máscara relacionado ao ajuste ao rosto ou até mesmo propor que as máscaras passem a ter tamanhos (P, M e G) para que as pessoas possam compreender o tamanho que melhor se adequa ao seu rosto.

6. CONCLUSÃO

Analisando os resultados apresentados pode-se concluir que nenhuma máscara cirúrgica, durante todos os testes de eficiência de filtração, apresentou os resultados sugeridos pelas normas. A única máscara que chegou à eficiência de 95%, foi um respirador (F) que foi testado com finalidade de comparar os resultados, além disso apresentou este valor apenas para uma vazão de ar estabelecida pela norma.

O fato de as máscaras cirúrgicas não conseguirem atingir a eficiência estabelecida pela norma, pode estar relacionado ao equipamento de medida de concentração de partículas utilizado durante os testes. Além disso, as máscaras cirúrgicas não são utilizadas com o objetivo de filtrar nanopartículas, apesar das normas sugerirem utilizar tamanho de partículas de 100 nm para os testes de caracterização destas máscaras.

Também é possível observar que a variação da velocidade de face/vazão de ar utilizado durante os testes altera os resultados de eficiência de filtração. Verificou-se que a eficiência de filtração para a vazão de ar de 28 L/min (vazão da respiração de uma pessoa realizando trabalho moderado), foi maior em relação à vazão de 7 L/min (22,79 cm/s). Isso deve-se ao tipo de escoamento, que para esta vazão era turbulento, apresentando número de Reynolds maior que 1000, como sugerido pela norma americana. Para vazões de ar menores, com o fluido escoando em regime laminar, a eficiência de filtração pode sofrer interferência direta pelos mecanismos de filtração.

Durante os testes utilizando a caixa de acrílico com os manequins, foi possível observar a importância do ajuste da máscara ao rosto, pois utilizando manequins diferentes, houve uma grande variação da eficiência de filtração das máscaras. As máscaras no manequim feminino ficaram visivelmente mais soltas, apresentando maior espaço entre o rosto e a máscara, provocando um maior vazamento de ar e menor eficiência de filtração.

Além de nenhuma máscara cirúrgica obter a eficiência de filtração desejada, a queda de pressão de todas as máscaras está próxima ao limite ou superior, com exceção da máscara C2 que apresentou baixíssima eficiência de filtração e queda de pressão.

A permeabilidade juntamente com as imagens de MEV das máscaras permitiu observar que elas são fabricadas com grande variação da estrutura das fibras, prejudicando diretamente na qualidade e regularidade dos produtos encontrados no

mercado. Isto compromete diretamente a proteção das pessoas que utilizam estas máscaras.

Os resultados encontrados neste trabalho mostram a necessidade de uma atenção para a produção das máscaras, padronização e com material de qualidade. Os testes propostos pelas normas devem ser mais consistentes, definindo melhor o tamanho das partículas a serem testadas, a vazão/velocidade superficial do teste, área para realização dos testes, a concentração das partículas. Por isso, foi proposto parâmetros que se adequam melhor à realidade que as máscaras serão expostas durante o seu uso, padronização das variáveis, permitindo a caracterização mais adequada e mais próximo da realidade, para garantir a qualidade deste produto a serem adquiridos no mercado, garantindo a melhor proteção contra patógenos e partículas que as pessoas respiram, diminuindo o contágio e evitando pandemias como a da covid-19.

7. TRABALHOS FUTUROS

- Ajustar a distância dos manequins na caixa de acrílico e avaliar a interferência nos testes;
- Inverter a cabeça do manequim de local, em que a cabeça recebendo ar com partículas do exterior, permitindo testar a eficiência da máscara no contexto;
- Realizar testes de resistência, umidade, bactericida, etc.
- Testar as máscaras para partículas maiores.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES. Recomendações para a gestão de resíduos em situação de pandemia por coronavírus (COVID-19). **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, , p. 1–11, 2020. .

ABNT NBR 13698. Equipamento de proteção respiratória - Peça semifacial filtrante para partículas. 2011. **Associação Brasileira de Normas Técnicas** [...]. [S. l.: s. n.], 2011. p. 30.

ABNT NBR 15052. Artigos de não tecido de uso odonto-médico- hospitalar - Máscaras cirúrgicas - Requisitos. 2004. **Associação Brasileira de Normas Técnicas** [...]. [S. l.: s. n.], 2004. p. 19. <https://doi.org/01.080.10; 13.220.99>.

ABNT NBR 15052. Máscara de uso odonto-médico-hospitalar- Requisitos e métodos de ensaio. 2021. **Associação Brasileira de Normas Técnicas** [...]. [S. l.: s. n.], 2021. p. 26.

ABNT PR 1002. Máscaras de proteção respiratória de uso não profissional - Guia de requisitos básicos para métodos de ensaio, fabricação e uso. 2020. **Associação Brasileira de Normas Técnicas** [...]. [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–41.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ORIENTAÇÕES GERAIS – Máscaras faciais de uso não profissional. 2020. [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–11.

ANVISA. **Cartilha de Proteção Respiratória contra Agentes Biológicos para Trabalhadores de Saúde**. [S. l.: s. n.], 2009.

ANVISA. Resolução RDC Nº 33 - Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, , p. 1, 2003. Available at: http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/rdc/33_03rdc.htm.

ANVISA Nº 04. ORIENTAÇÕES PARA SERVIÇOS DE SAÚDE: MEDIDAS DE PREVENÇÃO E CONTROLE QUE DEVEM SER ADOTADAS DURANTE A ASSISTÊNCIA AOS CASOS SUSPEITOS OU CONFIRMADOS DE INFECÇÃO PELO NOVO CORONAVÍRUS (SARS-CoV-2). 2020. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária** [...]. [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–92.

ASTM F2100. Standard Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks. 11., 2019. **American Society for Testing and Materials** [...]. [S. l.: s. n.], 2019. vol. 11, p. 19–21. <https://doi.org/10.1520/F2100-11.2>.

ASTM F2101. Standard Test Method for Evaluating the Bacterial Filtration Efficiency (BFE) of Medical Face Mask Materials , Using a Biological Aerosol of Staphylococcus aureus 1. i., 2019. **American Society for Testing and Materials** [...]. [S. l.: s. n.], 2019. vol. i, p. 1–5. <https://doi.org/10.1520/F2101-19.2>.

ASTM F2299. Standard Test Method for Determining the Initial Efficiency of Materials Used in Medical Face Masks to Penetration by Particulates Using Latex Spheres. 03., 2017. **American Society for Testing and Materials** [...]. [S. l.: s. n.], 2017. vol. 03, p. 1–8. <https://doi.org/10.1520/F2299>.

AYDIN, Onur; EMON, Bashar; CHENG, Shyuan; HONG, Liu; CHAMORRO, Leonardo P. Performance of fabrics for home-made masks against the spread of COVID-19 through droplets : A quantitative mechanistic study. **Extreme Mechanics Letters**, vol. 40, p. 100924, 2020. DOI 10.1016/j.eml.2020.100924. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eml.2020.100924>.

BARROS, Priscila Martins De. **Avaliação do desempenho de meios filtrantes na remoção de partículas nanométricas**. 2014. 78 f. Universidade Federal de São Carlos, 2014.

BLACHERE, Françoise M.; LEMONS, Angela R.; COYLE, Jayme P.; DERK, Raymond C.; LINDSLEY, William G.; BEEZHOLD, Donald H.; WOODFORK, Karen; DULING, Matthew G.; BOUTIN, Brenda; BOOTS, Theresa; HARRIS, James R.; NURKIEWICZ, Tim; NOTI, John D. Face mask fit modifications that improve source control performance. **American Journal of Infection Control**, vol. 50, no. 2, p. 133–140, 2022. DOI 10.1016/j.ajic.2021.10.041. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.10.041>.

BONFIM, Daniela Patrícia Freire; LIMA, Bruno de Araújo; PEREIRA, Tayanna Cristina Passos; SONEGO, Marília; GUERRA, Vádila Giovana; AGUIAR, Mônica Lopes. Personal Protective Equipment (PPE) and Coronavirus Disease (COVID-19). *In*: HUSSAIN, Chaudhery Mustansar; COSTA, Gustavo marques da (eds.). **Living with**

Covid-19: Economics, Ethics, and Environmental Issues. 1ª edição. [S. l.]: Jenny Stanford Publishing, 2021. p. 53–93.

BORTOLASSI, Ana Cláudia Canalli. **Desenvolvimento e avaliação de meios filtrantes com nanofibras eletrofiadas e agentes bactericidas aplicados na filtração de ar.** 2019. 118 f. Universidade Federal de São Carlos, 2019.

CAMPOS, Erick C.; GUEDES, Bruno Augusto Maciel. Relatório Técnico : Impactos da Pandemia de COVID-19 sobre Sistemas de Ar Condicionado e Climatização. , p. 1–17, 2020. .

CHAND, Aneesh A.; LAL, Prashant P.; PRASAD, Kushal A.; MAMUN, Kabir A. Practice, benefits, and impact of personal protective equipment (PPE) during COVID-19 pandemic: Envisioning the UN sustainable development goals (SDGs) through the lens of clean water sanitation, life below water, and life on land in Fiji. **Annals of Medicine and Surgery**, vol. 70, no. August, p. 102763, 2021. DOI 10.1016/j.amsu.2021.102763. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.102763>.

CHIA, Po Yiang; COLEMAN, Kristen Kelli; TAN, Yian Kim; ONG, Sean Wei Xiang; GUM, Marcus; LAU, Sok Kiang; SUTJIPTO, Stephanie; LEE, Pei Hea; SON, Than The; YOUNG, Barnaby Edward; MILTON, Donald K.; GRAY, Gregory C.; SCHUSTER, Stephan; BARKHAM, Timothy; DE, Partha Prathim; VASOO, Shawn; CHAN, Monica; ANG, Brenda Sze Peng; TAN, Boon Huan; ... MARIMUTHU, Kalisvar. Detection of Air and Surface Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in Hospital Rooms of Infected Patients. **medRxiv**, , p. 1–18, 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20046557>.

CHUA, Ming Hui; CHENG, Weiren; GOH, Shermin Simin; KONG, Junhua; LI, Bing; LIM, Jason Y. C.; MAO, Lu; WANG, Suxi; XUE, Kun; YANG, Le; YE, Enyi; ZHANG, Kangyi; CHEONG, Wun Chet Davy; TAN, Beng Hoon; LI, Zibiao; TAN, Ban Hock; LOH, Xian Jun. Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives. **Research**, , p. 1–40, 2020. <https://doi.org/10.34133/2020/7286735>.

CIRQUEIRA, Samirys Sara Rodrigues. **Avaliação do Desempenho dos Tratamentos das Superfícies dos Meios Filtrantes submetidos à Filtração por**

Pulso de Ar Reverso. 2017. 124 f. Universidade Federal de São Carlos, 2017.

DAVIES, Anna; THOMPSON, Katy-Anne; GIRI, Karthika; KAFATOS, George; WALKER, Jimmy; BENNETT, Allan. Testing the Efficacy of Homemade Masks: Would They Protect in an Influenza Pandemic? **Disaster Medicine and Public Health Preparedness**, vol. 7, no. 4, p. 413–418, Aug. 2013. <https://doi.org/10.1017/dmp.2013.43>.

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

DUGUID, J. P. The size and the duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet-nuclei. **The Journal of Hygiene**, vol. 44, no. 6, p. 471–479, Sep. 1946. .

EN 14683. Medical face masks. Requirements and test methods. 2014. **European Committee For Standardization** [...]. [S. l.: s. n.], 2014. p. 1–19.

EN 14683. Medical face masks - Requirements and test methods. 2019. [S. l.: s. n.], 2019. p. 25.

FANGUEIRO, R; FERREIRA, D; SILVA, C; SILVA, P; NAVARRO, M. Máscaras de proteção. **Fibrenamics Intelligence**, 2020. .

FEITOSA, N R. Desempenho de meios filtrantes na remoção de partículas nanométricas de aerossóis. , p. 136, 2009. .

HINDS, William C. Chapter 9: Filtration. **Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles**. 2nd ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2012.

HINDS, Willian C. **Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles**. 2nd ed. [S. l.: s. n.], 1999. vol. 2, . <https://doi.org/10.1080/17449200600935521>.

HUANG, Haiyue; FAN, Chunhai; LI, Min; NIE, Hua Li; WANG, Fu Bing; WANG, Hui; WANG, Ruilan; XIA, Jianbo; ZHENG, Xin; ZUO, Xiaolei; HUANG, Jiaying. COVID-19: A Call for Physical Scientists and Engineers. **ACS Nano**, 2020. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c02618>.

HYLDGÅRD, Carl-Erik. Humans as a source of heat and air pollution. **Dept. of Building technology and Structural Engineering**, vol. R9414, 1994. .

IPPOLITO, Mariachiara; VITALE, Filippo; ACCURSO, Giuseppe; IOZZO, Pasquale; GREGORETTI, Cesare; GIARRATANO, Antonino; CORTEGIANI, Andrea. Medical masks and Respirators for the Protection of Healthcare Workers from SARS-CoV-2 and other viruses. **Pulmonology**, vol. 26, no. 4, p. 204–212, 2020. DOI 10.1016/j.pulmoe.2020.04.009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.04.009>.

KOCH, Michael. Cake filtration modeling – Analytical cake filtration model and filter medium characterization. , p. 129, 2008. .

KONDA, Abhiteja; PRAKASH, Abhinav; MOSS, Gregory A.; SCHMOLDT, Michael; GRANT, Gregory D.; GUHA, Supratik. Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks. **ACS Nano**, vol. 14, no. 5, p. 6339–6347, 2020. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c03252>.

KUTTER, Jasmin S.; SPRONKEN, Monique I.; FRAAIJ, Pieter L.; FOUCHIER, Ron AM; HERFST, Sander. Transmission routes of respiratory viruses among humans. **Current Opinion in Virology**, vol. 28, p. 142–151, 2018. DOI 10.1016/j.coviro.2018.01.001. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coviro.2018.01.001>.

LEE, Shu An; GRINSHPUN, Sergey A.; REPONEN, Tiina. Respiratory performance offered by N95 respirators and surgical masks: Human subject evaluation with NaCl aerosol representing bacterial and viral particle size range. **Annals of Occupational Hygiene**, vol. 52, no. 3, p. 177–185, 2008. <https://doi.org/10.1093/annhyg/men005>.

LEPELLETIER, D; GRANDBASTIEN, B; ROMANO-BERTRAND, S; AHO, S. What face mask for what use in the context of the COVID-19 pandemic? The French guidelines. **Journal of Hospital Infection**, vol. 105, p. 414–418, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.04.036>.

LEUNG, Nancy H.L.; CHU, Daniel K.W.; SHIU, Eunice Y.C.; CHAN, Kwok Hung; MCDEVITT, James J.; HAU, Benien J.P.; YEN, Hui Ling; LI, Yuguo; IP, Dennis K.M.; PEIRIS, J. S.Malik; SETO, Wing Hong; LEUNG, Gabriel M.; MILTON, Donald K.; COWLING, Benjamin J. Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. **Nature Medicine**, vol. 26, no. 5, p. 676–680, 2020. DOI 10.1038/s41591-

020-0843-2. Available at: <http://dx.doi.org/10.1038/s41591-020-0843-2>.

LI, Xia; DING, Pei; DENG, Fuchang; MAO, Yixin; ZHOU, Lin; DING, Cheng; WANG, Youbin; LUO, Yueyun; ZHOU, Yakun; MACINTYRE, C. Raina; TANG, Song; XU, Dongqun; SHI, Xiaoming. Wearing time and respiratory volume affect the filtration efficiency of masks against aerosols at different sizes. **Environmental Technology and Innovation**, vol. 25, no. 7, p. 102165, 2022. DOI 10.1016/j.eti.2021.102165. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102165>.

LIMA, Magda Milleyde de Sousa; CAVALCANTE, Francisco Marcelo Leandro; MACÊDO, Thamires Sales; GALINDO-NETO, Nelson Miguel; CAETANO, Joselany Áfio; BARROS, Livia Moreira. Máscaras de tecido para a prevenção da COVID-19 e outras infecções respiratórias * Introdução Método. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, vol. 28, no. e3353, 2020. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4537.3353>.

LIU, Yuan; NING, Zhi; CHEN, Yu; GUO, Ming; LIU, Yingle; GALI, Nirmal Kumar; SUN, Li; DUAN, Yusen; CAI, Jing; WESTERDAHL, Dane; LIU, Xinjin; HO, Kin-fai; KAN, Haidong; FU, Qingyan; LAN, Ke. Aerodynamic Characteristics and RNA Concentration of SARS-CoV-2 Aerosol in Wuhan Hospitals during COVID-19 Outbreak. **bioRxiv**, vol. 86, no. 21, 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.03.08.982637>.

LOCKHART, Shannon L.; DUGGAN, Laura V.; WAX, Randy S.; SAAD, Stephan; GROCOTT, Hilary P. Personal protective equipment (PPE) for both anesthesiologists and other airway managers: principles and practice during the COVID-19 pandemic. **Canadian Journal of Anesthesia**, vol. 67, no. 8, p. 1005–1015, 2020. DOI 10.1007/s12630-020-01673-w. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12630-020-01673-w>.

LU, Jianyun; GU, Jieni; LI, Kuibiao; XU, Conghui; SU, Wenzhe; LAI, Zhisheng; ZHOU, Deqian; YU, Chao; XU, Bin; YANG, Zhicong. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. **Emerging Infectious Diseases**, vol. 26, no. 7, p. 1628–1631, 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.3201/eid2607.200764> During.

MORAWSKA, L. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? **Indoor Air**, vol. 16, no. 5, p. 335–347, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1600->

0668.2006.00432.x.

MORAWSKA, Lidia; CAO, Junji. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. **Environment International**, vol. 139, p. 105730, 2020. DOI 10.1016/j.envint.2020.105730. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>.

MORAWSKA, Lidia; TANG, Julian W.; BAHNFLETH, William; BLUYSSSEN, Philomena M.; BOERSTRA, Atze; BUONANNO, Giorgio; CAO, Junji; DANCER, Stephanie; FLOTO, Andres; FRANCHIMON, Francesco; HAWORTH, Charles; HOGELING, Jaap; ISAXON, Christina; JIMENEZ, Jose L.; KURNITSKI, Jarek; LI, Yuguo; LOOMANS, Marcel; MARKS, Guy; MARR, Linsey C.; ... YAO, Maosheng. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? **Environment International**, vol. 142, no. April, p. 1–7, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>.

MOUCHTOURI, Varvara A; KOUREAS, Michalis; KYRITSI, Maria; VONTAS, Alexandros; KOURENTIS, Leonidas; SAPOUNAS, Spyros; RIGAKOS, George; PETINAKI, Efthimia; TSIODRAS, Sotirios; HADJICHRISTODOULOU, Christos. Environmental contamination of SARS-CoV-2 on surfaces , air-conditioner and ventilation systems. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, vol. 230, p. 1–3, 2020. DOI 10.1016/j.ijheh.2020.113599. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113599>.

MOUSAVI, Ehsan S; GODRI, Krystal J; SHERMAN, Jodi; MARTINELLO, Richard A. Performance analysis of portable HEPA filters and temporary plastic anterooms on the spread of surrogate coronavirus. **Building and Environment**, vol. 183, p. 1–10, 2020. DOI 10.1016/j.buildenv.2020.107186. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107186>.

NEUPANE, Bhanu Bhakta; MAINALI, Sangita; SHARMA, Amita; GIRI, Basant. Optical microscopic study of surface morphology and filtering efficiency of face masks. **PeerJ** 7, , p. 1–14, 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.7142>.

PMS LPC-110. Lasair III 110 - Contador de partículas de Aerosol. **Ficha técnica**, 2016. .

PRATHER, By Kimberly A; WANG, Chia C; SCHOOLEY, Robert T. Reducing

transmission of SARS-CoV-2. **Science**, vol. 368, no. 6498, p. 1422–1424, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.abc6197>.

RODRIGUES, Karina Bassan. **Filtração de gases: estudo da deposição de diferentes tortas de filtração em diferentes meios filtrantes**. 2006. Universidade Federal de São Carlos, 2006.

SILVA, Gracinda Marina Castelo da. **Desempenho de filtros cerâmicos na filtração de gases a altas temperaturas**. 2008. 177 f. Universidade Federal de São Carlos, 2008.

SMITH, Jeffrey D; MACDOUGALL, Colin C; JOHNSTONE, Jennie; COPES, Ray A; SCHWARTZ, Brian; GARBER, Gary E. Effectiveness of N95 respirators versus surgical masks in protecting health care workers from acute respiratory infection: a systematic review and meta-analysis. **CMAJ**, vol. 188, no. 8, p. 567–574, 2016. <https://doi.org/10.1503/cmaj.150835/-/DC1>.

STEFFENS, J. **Desempenho de filtros fibrosos operando na remoção de partículas nanométricas de aerossóis**. 2007. Universidade Federal de São Carlos, 2007.

TANABE, E H. **Desempenho de meios filtrantes na filtração de gases a altas pressões**. 2011. 150 f. Universidade Federal de São Carlos, 2011.

TANG, Song; LI, Xia; DING, Pei; MAO, Yixin; DENG, Fuchang; CHA, Yu'e; ZHUANG, Siqi; DING, Cheng; WANG, Jiao; WANG, Youbin; ZHAO, Xiaoning; JONES, Rachael M.; KAN, Biao; MACINTYRE, C. Raina; XU, Dongqun; SHI, Xiaoming. Filtration efficiency of face masks against aerosolized surrogate SARS-CoV-2 at different social distances. **Science Bulletin**, no. xxxx, 2021. DOI 10.1016/j.scib.2021.12.017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.12.017>.

TORLONI, Maurício; VIEIRA, Antonio Vladimir. **Manual de Proteção Respiratória**. 1ª Edição. São Paulo: ABHO, 2003.

TSI 3776. Ultrafine Condensation Particle Counter, Model 3776. **Operation and service manual**, , p. 137, 2006. .

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Rational use of personal protective equipment for

coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages. no. April, p. 1–28, 2020. .

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO lists additional COVID-19 vaccine for emergency use and issues interim policy recommendations. 2021. Available at: <https://www.who.int/news/item/07-05-2021-who-lists-additional-covid-19-vaccine-for-emergency-use-and-issues-interim-policy-recommendations>. Accessed on: 27 Aug. 2021.

ZHU, Miaomiao; HAN, Jingquan; WANG, Fang; SHAO, Wei; XIONG, Ranhua; ZHANG, Qilu; PAN, Hui; YANG, Yong; SAMAL, Sangram Keshari; ZHANG, Feng; HUANG, Chaobo. Electrospun Nanofibers Membranes for Effective Air Filtration. **Macromolecular Materials and Engineering**, vol. 302, no. 1, p. 1–27, 2017. <https://doi.org/10.1002/mame.201600353>.

APÊNDICE

Tabela 21 - Resultados obtidos para pressão diferencial das máscaras testadas segundo a norma ABNT BR 15052 (2004).

Amostras	Empresa	Área	Pressão diferencial (Pa/cm ²)					Desvio padrão	Pressão diferencial (mmH ₂ O/cm ²)	
			1	2	3	4	Média		Média	Desvio padrão
Máscara 22	A95%	5,12	35,94	42,23	43,39	32,62	38,55	5,13	3,93	0,52
Máscara 23		5,12	37,76	35,98	38,39	37,72	37,46	1,03	3,82	0,11
Máscara 24	A98%	5,12	32,51	35,53	34,69	34,58	34,33	1,29	3,50	0,13
Máscara 25		5,12	39,89	38,72	38,39	37,16	38,54	1,12	3,93	0,11
Máscara 26	A95%	5,12	34,15	39,30	38,09	36,28	36,95	2,25	3,77	0,23
Máscara 27	B	5,12	116,56	116,82	106,95	114,84	113,79	4,64	11,60	0,47
Máscara 28		5,12	112,56	120,22	121,76	118,67	118,30	4,03	12,06	0,41
Máscara 29	C1	5,12	41,57	39,21	44,68	39,77	41,31	2,46	4,21	0,25
Máscara 30		5,12	40,34	45,14	41,12	39,38	41,50	2,53	4,23	0,26
Máscara 31	C2	5,12	1,13	1,05	1,00	0,98	1,04	0,07	0,11	0,01
Máscara 32		5,12	1,04	5,60	6,30	6,60	4,88	2,60	0,50	0,27
Máscara 33	D	5,12	51,51	49,79	53,27	50,97	51,39	1,45	5,24	0,15
Máscara 34		5,12	56,49	60,62	64,60	56,24	59,49	3,96	6,07	0,40
Máscara 35	C1	5,12	67,61	70,36	56,08		64,69	7,58	6,60	0,77
Máscara 36		5,12	63,00	328,10	370,80		253,97	166,75	25,90	17,00
Máscara 37	A95%	5,12	85,78	103,34	88,81		92,64	9,39	9,45	0,96
Máscara 38		5,12	83,49	79,55	76,63		79,89	3,44	8,15	0,35
Máscara 39	A98%	5,12	53,90	55,99	69,56		59,82	8,51	6,10	0,87
Máscara 40		5,12	56,12	81,34	82,18		73,22	14,81	7,47	1,51
Máscara 41	D	5,12	58,58	69,29	69,64		65,84	6,28	6,71	0,64
Máscara 42		5,12	80,37	74,00	57,45		70,61	11,83	7,20	1,21
Máscara 43	A95%	5,12	50,75	60,05	92,81		67,87	22,09	6,92	2,25
Máscara 44	A98%	5,12	93,73	82,14	94,27		90,05	6,85	9,18	0,70
Máscara 45	C1	5,12	66,11	71,91	59,03		65,68	6,45	6,70	0,66
Máscara 46	D	5,12	47,61	81,75	73,59		67,65	17,83	6,90	1,82
Máscara 67	A95%	5,12	39,40	45,09	42,70	32,43	39,90	5,50	4,07	0,56
Máscara 68	A98%	5,12	34,11	34,67	36,63	34,81	35,06	1,09	3,57	0,11
Máscara 69	B	5,12	115	119	126,6	126,1	121,70	5,66	12,41	0,58
Máscara 70	C1	5,12	40,09	40,2	38,13	41,28	39,92	1,31	4,07	0,13
Máscara 71	C2	5,12	1,172	1,016	1,113	0,957	1,06	0,10	0,11	0,01
Máscara 72	E	5,12	90,9	89,27	92,93	97,15	92,56	3,40	9,44	0,35
Máscara 73	A95%	5,12	37,04	39,32	42,98	36,98	39,08	2,82	3,99	0,29
Máscara 74	A98%	5,12	36,76	36,1	33,33	37,16	35,84	1,73	3,65	0,18
Máscara 75	B	5,12	136,3	130,9	126,4	135,9	132,37	4,66	13,50	0,47
Máscara 76	C1	5,12	42,27	44,11	42,39	41,84	42,65	1,00	4,35	0,10
Máscara 77	C2	5,12	1,153	1,094	1,055	1,231	1,13	0,08	0,12	0,01
Máscara 78	E	5,12	88,38	89,08	110,43	90,33	94,55	10,62	9,64	1,08
Máscara 81	F	5,12	90,33	90,50	84,12	86,01	87,74	3,19	8,95	0,32
Máscara 82	F	5,12	72,98	85,82	85,45	81,25	81,37	5,97	8,30	0,61
Máscara 78	E	5,12	88,38	89,08	110,43	90,33	94,55	10,62	9,64	1,08
Máscara 81	F	5,12	90,33	90,50	84,12	86,01	87,74	3,19	8,95	0,32
Máscara 82	F	5,12	72,98	85,82	85,45	81,25	81,37	5,97	8,30	0,61
Máscara 88	A98%	5,12	32,62	34,97	36,08	35,16	34,56	1,47	3,52	0,15
Máscara 89-1	A98%	5,12	34,58	31,69	32,54	33,33	33,03	1,23	3,37	0,13
Máscara 90-1	A98%	5,12	32,58	31,78	34,56	30,77	32,42	1,61	3,31	0,16

Tabela 22 - Resultados obtidos para eficiência de filtração de partículas das máscaras testadas segundo a norma ABNT NBR 15052 (2004)

Amostras	Empresa	Vazão (L/min)	Partículas	Área	Velocidade de face (cm/s)	Eficiência de filtração(%)						
						1	2	3	4	Média	Desvio padrão	
Máscara 22	A95%	28	NaCl	5,12	91,16	49,87	52,44	52,36	50,56	51,31	1,29	
		7			22,79	21,88	24,49	30,89	22,39	24,91	4,14	
		4			13,02	27,67	30,67	35,72	29,63	30,92	3,43	
Máscara 23		NaCl	28	5,12	91,16	51,25	51,33	51,14	51,72	51,36	0,25	
			7		22,79	27,15	21,69	19,97	22,18	22,75	3,09	
			4		13,02	30,00	26,70	25,85	25,99	27,14	1,94	
Máscara 24		A98%	28	NaCl	5,12	91,16	51,72	53,84	53,91	52,56	53,01	1,06
			7			22,79	24,70	27,40	25,82	22,48	25,10	2,07
			4			13,02	30,07	31,42	30,54	28,30	30,08	1,31
Máscara 25	NaCl		28	5,12	91,16	55,96	53,56	55,24	51,85	54,15	1,83	
			7		22,79	31,53	31,56	29,30	26,59	29,75	2,35	
			4		13,02	36,63	34,28	29,42	29,74	32,52	3,53	
Máscara 26	A95%		28	NaCl	5,12	91,16	50,00	49,48	49,51	49,86	49,71	0,26
			7			22,79	18,79	22,21	19,98	26,47	21,86	3,39
			4			13,02	27,06	30,07	30,58	30,77	29,62	1,73
Máscara 27		B	28	NaCl	5,12	91,16	63,89	62,95	61,89	63,01	62,94	0,82
			7			22,79	41,85	42,63	42,97	39,07	41,63	1,77
			4			13,02	50,50	50,65	47,74	46,34	48,81	2,12
Máscara 28			NaCl	28	5,12	91,16	60,74	63,88	66,81	63,51	63,73	2,48
				7		22,79	39,76	46,86	42,26	41,09	42,49	3,08
				4		13,02	45,88	51,94	48,51	47,68	48,50	2,54
Máscara 29	C1		28	NaCl	5,12	91,16	54,82	55,01	55,78	55,78	55,35	0,51
			7			22,79	20,00	21,64	28,75	23,21	23,40	3,80
			4			13,02	25,16	27,20	35,33	28,76	29,11	4,40
Máscara 30		NaCl	28	5,12	91,16	56,33	58,49	58,11	54,60	56,89	1,79	
			7		22,79	27,06	27,78	25,57	23,00	25,85	2,11	
			4		13,02	31,67	33,04	29,01	28,55	30,56	2,14	
Máscara 31		C2	28	NaCl	5,12	91,16	0,74	2,63	0,67	2,89	1,73	1,19
			7			22,79	0,84	0,77	-1,10	0,63	0,28	0,93
			4			13,02	0,37	0,56	-0,29	0,47	0,27	0,39
Máscara 32	NaCl		28	5,12	91,16	1,25	1,01	2,58	1,45	1,57	0,69	
			7		22,79	0,27	0,46	0,06	-0,04	0,19	0,22	
			4		13,02	0,39	0,62	0,38	0,48	0,47	0,11	
Máscara 33	D		28	NaCl	5,12	91,16	56,83	56,14	56,98	58,20	57,04	0,86
			7			22,79	25,03	23,70	26,29	29,41	26,11	2,44
			4			13,02	31,62	30,57	32,18	37,04	32,85	2,87
Máscara 34		NaCl	28	5,12	91,16	58,90	59,69	60,76	60,29	59,91	0,81	
			7		22,79	31,49	32,55	32,98	29,48	31,63	1,56	
			4		13,02	37,56	41,41	39,30	37,47	38,94	1,85	
Máscara 35		C1	28	NaCl	5,12	91,16	61,99	62,58	62,90		62,49	0,46
			7			22,79	31,71	44,38	39,10		38,40	6,36
			4			13,02	31,48	42,39	44,07		39,31	6,84
Máscara 36	NaCl		28	5,12	91,16	62,61	62,80	63,09		62,83	0,24	
			7		22,79	32,83	35,49	35,84		34,72	1,65	
			4		13,02	49,43	44,89	46,59		46,97	2,29	
Máscara 37	A95%		28	NaCl	5,12	91,16	68,84	69,08	68,75		68,89	0,17
			7			22,79	55,86	60,31	53,11		56,42	3,63

		4			13,02	67,81	71,59	62,21		67,20	4,72
Máscara 38		28	NaCl	5,12	91,16	66,64	68,11	64,69		66,48	1,72
		7			22,79	51,70	49,78	58,19	53,22	4,41	
		4			13,02	56,99	61,00	74,73	64,24	9,30	
Máscara 39	A98%	28	NaCl	5,12	91,16	71,64	70,46	72,25		71,45	0,91
		7			22,79	52,22	51,87	65,86	56,65	7,98	
		4			13,02	67,91	63,23	66,99	66,04	2,48	
Máscara 40		28	NaCl	5,12	91,16	68,77	73,60	73,57		71,98	2,78
		7			22,79	45,42	66,61	58,85	56,96	10,72	
		4			13,02	58,11	65,30	64,77	62,72	4,01	
Máscara 41	D	28	NaCl	5,12	91,16	61,18	65,18	63,33		63,23	2,00
		7			22,79	44,44	43,07	45,90	44,47	1,41	
		4			13,02	49,40	59,29	55,86	54,85	5,02	
Máscara 42		28	NaCl	5,12	91,16	66,24	63,27	62,38		63,96	2,02
		7			22,79	46,58	38,19	39,20	41,33	4,58	
		4			13,02	58,30	51,68	52,96	54,31	3,51	
Máscara 43	A95%	28	NaCl	5,12	91,16	60,77	63,21	66,03		63,34	2,63
		7			22,79	44,31	46,57	56,33	49,07	6,39	
		4			13,02	54,60	51,41	62,11	56,04	5,49	
Máscara 44	A98%	28	NaCl	5,12	91,16	76,39	74,30	75,84		75,51	1,08
		7			22,79	67,79	61,90	63,25	64,32	3,08	
		4			13,02	72,45	71,08	73,37	72,30	1,16	
Máscara 45	C1	28	NaCl	5,12	91,16	62,55	63,72	61,69		62,65	1,02
		7			22,79	44,86	44,86	40,31	43,34	2,63	
		4			13,02	45,11	43,54	45,31	44,66	0,97	
Máscara 46	D	28	NaCl	5,12	91,16	60,46	62,91	63,47		62,28	1,60
		7			22,79	38,55	41,50	47,10	42,38	4,34	
		4			13,02	43,61	51,06	47,09	47,25	3,73	
Máscara 67	A95%	28	Látex	5,12	91,16	52,68	53,39	52,17	50,89	52,75	0,61
Máscara 68	A98%	28	Látex	5,12	91,16	53,95	53,01	53,93	55,54	53,63	0,54
Máscara 69	B	28	Látex	5,12	91,16	65,03	65,46	66,33	65,47	65,61	0,67
Máscara 70	C1	28	Látex	5,12	91,16	55,39	55,74	53,01	54,76	54,71	1,49
Máscara 71	C2	28	Látex	5,12	91,16	1,49	2,55	2,57	2,65	2,20	0,62
Máscara 72	E	28	Látex	5,12	91,16	67,12	68,73	65,57	63,80	67,14	1,58
Máscara 73	A95%	28	Látex	5,12	91,16	54,81	53,04	52,49	52,61	53,45	1,21
Máscara 74	A98%	28	Látex	5,12	91,16	58,18	57,80	57,22	58,08	57,73	0,48
Máscara 75	B	28	Látex	5,12	91,16	64,99	66,13	64,22	64,23	65,11	0,96
Máscara 76	C1	28	Látex	5,12	91,16	52,89	53,11	52,97	52,41	52,99	0,11
Máscara 77	C2	28	Látex	5,12	91,16	1,63	1,23	1,32	0,61	1,39	0,21
Máscara 78	E	28,00	Látex	5,12	91,16	61,63	62,13	62,51	63,23	62,37	0,67
Máscara 81	F	28,00	Látex	5,12	91,16	79,73	79,78	76,19	78,34	78,51	1,69
Máscara 82	F	28,00	Látex	5,12	91,16	78,68	80,05	80,84	81,97	80,39	1,38
Máscara 88	A98%	28,00	NaCl	5,12	91,16	62,58	62,92	64,19	65,24	63,73	1,22
		7,00			22,79	29,47	29,36	26,23	31,76	29,20	2,27
		4,00			13,02	31,95	30,14	31,59	34,17	31,96	1,67
Máscara 89-1	A98%	28,00	Látex	5,12	91,16	56,77	58,62	60,15	59,97	58,87	1,56
Máscara 89-2	A98%	28,00	Látex	5,12	91,16	55,50	54,94	58,08	57,48	56,50	1,51
Máscara 90-1	A98%	28,00	Látex	5,12	91,16	60,89	61,62	59,99	60,54	60,76	0,68
Máscara 90-2	A98%	28,00	Látex	5,12	91,16	58,94	58,38	55,80	58,18	57,82	1,39

Tabela 23 - Resultados obtidos durante o teste utilizando a caixa de acrílico.

Máscara	Empresa	Vazão	Partículas	Cabeça	Área (cm²)	Velocidade de face (cm/s)	Eficiência (%)	
Máscara 47	A95%	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	35,522	
		9,5				12,908	60,947	
		5,0				6,794	56,232	
Máscara 48		17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	38,108	
		9,5				12,908	56,505	
		5,0				6,794	40,053	
Máscara 49-2		17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	27,918	
		9,5				12,908	58,588	
		5,0				6,794	30,886	
Máscara 50		17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	33,292	
		9,5				12,908	56,357	
		5,0				6,794	40,865	
Máscara 51	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	36,483		
	9,5				12,908	58,937		
	5,0				6,794	50,141		
Máscara 52	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	42,777		
	9,5				12,908	54,106		
	5,0				6,794	58,878		
Máscara 56	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	36,890		
	9,5				12,908	50,168		
	5,0				6,794	55,705		
Máscara 57	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	32,181		
	9,5				12,908	36,297		
	5,0				6,794	49,876		
Máscara 58	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	28,495		
	9,5				12,908	36,832		
	5,0				6,794	46,322		
Máscara 59	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	33,776		
	9,5				12,908	56,765		
	5,0				6,794	73,886		
Máscara 60	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	33,275		
	9,5				12,908	56,954		
	5,0				6,794	74,358		
Máscara 61	17,0	NaCl	Masculina	12,267	23,098	32,617		
	9,5				12,908	60,180		
	5,0				6,794	73,965		
Máscara 59	D	17	NaCl	Feminina	12,267	22,419	33,238	
		9,5				12,908	13,843	
		4,8				6,522	8,910	
Máscara 60		17	NaCl	Feminina	12,267	22,419	31,542	
		9,5				12,908	15,222	
		4,8				6,522	18,655	
Máscara 57		17	NaCl	Feminina	12,267	22,419	28,203	
		ra9,5				12,908	7,385	
		4,8				6,522	36,641	
Máscara 85		A98%	17,0	NaCl	Masculina	12,27	23,10	43,96
			9,5				12,91	61,26
			5,0				6,79	40,07
Máscara 85-2	17,0		NaCl	Feminina	12,27	23,10	41,08	
	9,5					12,91	59,76	
	5,0					6,79	47,11	
Máscara 86-2	17,0		NaCl	Feminina	12,27	23,10	44,07	
	9,5					12,91	69,34	

		5,0				6,79	73,80
Máscara 61-2	D	17,0	NaCl	Masculina	12,27	23,10	26,42
		9,5				12,91	50,80
		5,0				6,79	68,90
Máscara 61-2		17,0	NaCl	Feminina	12,27	23,10	26,60
		9,5				12,91	38,73
		5,0				6,79	14,63

Tabela 24 - Resultados obtidos para pressão diferencial das máscaras testadas segundo a norma ABNT NBR 15052 (2021)

Máscara	Empresa	Área (cm ²)	Pressão diferencial (Pa/cm ²)							Pressão diferencial (mmH ₂ O/cm ²)	
			1	2	3	4	5	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Máscara 47	A95%	5,119	41,63	38,09	38,46	37,31	37,80	38,66	1,71	3,94	0,17
Máscara 48		5,119	34,97	37,66	43,45	42,29	45,18	40,71	4,25	4,15	0,43
Máscara 49		5,119	39,52	35,63	40,14	36,45	35,51	37,45	2,21	3,82	0,23
Máscara 50	A98%	5,119	35,98	33,19	32,31	33,70	35,96	34,23	1,67	3,49	0,17
Máscara 51		5,119	34,54	35,75	36,02	37,14	36,14	35,92	0,93	3,66	0,10
Máscara 52		5,119	38,46	38,35	40,30	40,75	40,77	39,73	1,22	4,05	0,12
Máscara 56	C1	5,119	41,18	38,52	40,03	39,19	41,24	40,03	1,20	4,08	0,12
Máscara 57		5,119	43,89	39,42	43,93	45,05	39,40	42,34	2,71	4,32	0,28
Máscara 58		5,119	43,76	36,78	41,18	40,91	42,78	41,08	2,67	4,19	0,27
Máscara 59	D	5,119	57,57	62,20	64,13	60,75		61,16	2,77	6,24	0,28
Máscara 60		5,119	57,32	51,92	61,28	64,68		58,80	5,48	6,00	0,56
Máscara 79	E	5,119	93,51	88,84	97,87	111,76		98,00	9,89	9,99	1,01
Máscara 80	E	5,119	96,46	106,76	93,26	101,25		99,43	5,88	10,14	0,60
Máscara 83	F	5,119	85,70	98,77	85,45	88,81		89,68	6,25	9,14	0,64
Máscara 84	A98%	5,119	78,63	79,64	79,88	78,53		79,17	0,69	8,07	0,07
Máscara 85	A98%	5,119	32,82	30,67	35,28	34,28	37,68	33,26	2,00	3,39	0,20

Tabela 25 - Resultados obtidos para eficiência de filtração das máscaras testadas segundo a norma ABNT NBR 15052 (2021).

Máscara	Empresa	Vazão	Partículas	Velocidade de face (cm/s)	Eficiência de filtração (%)						
					1	2	3	4	5	Média	Desvio padrão
Máscara 47	A95%	7,0	NaCl	22,791	36,60	46,05	41,92	39,57	41,71	41,17	3,47
		4,0		13,023	42,94	53,66	53,31	51,31	51,46	50,54	4,38
		2,0		6,512	50,36	61,19	58,61	55,22	58,52	56,78	4,17
Máscara 48		7,0	NaCl	22,791	37,03	44,33	44,71	43,10	41,54	42,15	3,11
		4,0		13,023	48,13	52,75	51,42	48,17	52,40	50,57	2,27
		2,0		6,512	57,46	63,89	63,51	59,52	59,32	60,74	2,82
Máscara 49		7,0	NaCl	22,791	46,69	35,93	44,71	42,28	35,41	41,00	5,11
		4,0		13,023	48,35	42,04	52,17	48,98	43,21	46,95	4,23
		2,0		6,512	52,01	48,55	56,71	51,84	52,56	52,33	2,91
Máscara 50	7,0	NaCl	22,791	38,36	37,59	35,87	35,32	36,35	36,70	1,25	
	4,0		13,023	47,68	50,85	49,94	45,83	50,00	48,86	2,06	
	2,0		6,512	59,26	60,44	53,06	54,75	59,07	57,32	3,21	
Máscara 51	7,0	NaCl	22,791	40,11	38,50	41,44	44,65	46,66	42,27	3,34	
	4,0		13,023	49,98	50,92	48,39	51,79	54,20	51,05	2,16	
	2,0		6,512	60,36	60,42	56,17	59,18	64,08	60,04	2,84	
Máscara 52	17,0	NaCl	55,349	43,81	40,36	40,45	46,00	40,20	42,16	2,62	
	9,5		30,930	51,56	52,15	49,88	54,64	50,40	51,73	1,86	
	5,0		16,279	60,13	62,51	60,84	61,40	59,35	60,85	1,21	
Máscara 56	7,0	NaCl	22,791	39,32	40,80	46,27	41,65	42,94	42,19	2,63	
	4,0		13,023	45,05	49,98	51,40	48,43	51,21	49,22	2,61	

		2,0		6,512	52,49	57,95	52,00	56,07	59,32	55,57	3,25
Máscara 57	NaCl	7,0		22,791	42,34	35,59	44,65	46,04	47,52	43,23	4,68
		4,0		13,023	49,08	40,60	54,84	53,23	50,82	49,71	5,55
		2,0		6,512	53,81	51,18	61,15	56,34	52,70	55,04	3,90
Máscara 58	NaCl	7,0		22,791	35,67	32,56	40,40	39,88	36,89	37,08	3,21
		4,0		13,023	47,49	38,73	49,00	48,49	43,50	45,44	4,33
		2,0		6,512	54,83	46,92	55,27	53,39	52,09	52,50	3,36
Máscara 59	NaCl	7,0		22,791	50,00	51,24	50,01	45,23		49,12	2,66
		4,0		13,023	57,11	57,76	56,08	51,32		55,57	2,91
		2,0		6,512	62,07	63,12	61,25	58,94		61,35	1,78
Máscara 60	NaCl	7,0		22,791	42,56	43,92	45,22	44,17		43,97	1,10
		4,0		13,023	48,81	49,46	53,09	53,56		51,23	2,44
		2,0		6,512	55,09	55,70	60,35	60,46		57,90	2,90
Máscara 79	NaCl	7,0		22,791	75,22	74,83	74,88	76,65		75,40	0,86
		4,0		13,023	84,93	81,33	81,91	83,09		82,82	1,59
		2,0		6,512	87,82	85,42	86,14	84,67		86,01	1,35
Máscara 80	NaCl	7,0		22,79	72,51	74,18	68,14	72,60		71,86	2,59
		4,0		13,02	79,42	83,46	75,60	79,16		79,41	3,21
		2,0		6,51	83,59	84,11	79,21	79,22		81,53	2,68
Máscara 83	NaCl	7,0		22,79	85,63	86,09	86,28	86,42		86,11	0,35
		4,0		13,02	93,32	94,45	93,58	93,78		93,78	0,48
		2,0		6,51	94,67	96,40	95,71	96,22		95,75	0,77
Máscara 84	NaCl	7,0		22,79	80,46	83,92	84,53	85,06		83,49	2,08
		4,0		13,02	91,23	91,35	91,46	92,60		91,66	0,64
		2,0		6,51	93,87	93,97	94,01	94,93		94,19	0,49
Máscara 85-1	A98%	7,0		22,79	42,51	42,11	45,79	37,63	42,46	42,01	3,35
		4,0		13,02	49,49	45,77	51,93	44,94	52,74	48,03	3,27
		2,0		6,51	61,71	60,25	60,84	57,40	63,36	60,05	1,87
Máscara 85-2	A98%	7,0		22,79	43,57	38,76	44,98	37,94	48,66	41,31	3,48
		4,0		13,02	48,81	47,49	49,99	46,06	58,91	48,09	1,70
		2,0		6,51	59,22	56,52	60,42	53,69	58,81	57,46	3,00

Tabela 26 - Resultados de permeabilidade obtidos pelas máscaras testadas.

Máscara	Empresa	Permeabilidade - Darcy					Média	Desvio padrão
		1	2	3	4	5		
Máscara 22	A95%	1,69E-11	1,31E-11				1,50E-11	2,66E-12
Máscara 23	A95%	1,53E-11	1,51E-11				1,52E-11	1,38E-13
Máscara 26	A95%	1,84E-11	1,56E-11	1,58E-11	1,66E-11		1,66E-11	1,26E-12
Máscara 24	A98%	1,81E-11	1,69E-11				1,75E-11	8,84E-13
Máscara 25	A98%	1,50E-11	1,56E-11				1,53E-11	4,49E-13
Máscara 27	B	6,51E-12	6,35E-12	6,87E-12	6,46E-12		6,55E-12	2,26E-13
Máscara 28	B	6,79E-12	6,42E-12	6,33E-12			6,52E-12	2,45E-13
Máscara 29	C1	1,81E-11	5,34E-11	1,72E-11	1,94E-11		2,70E-11	1,76E-11
Máscara 30	C1	1,90E-11	1,64E-11	1,94E-11	2,09E-11		1,89E-11	1,87E-12
Máscara 31	C2	7,52E-10	7,53E-10	7,84E-10	6,53E-10		7,35E-10	5,70E-11
Máscara 32	C2	7,81E-10	7,13E-10	6,25E-10	6,13E-10		6,83E-10	7,91E-11
Máscara 33	D	1,57E-11	1,57E-11	1,46E-11	1,50E-11		1,53E-11	5,32E-13
Máscara 34	D	1,40E-11	1,23E-11	1,46E-11	1,50E-11		1,40E-11	1,18E-12
Máscara 37	A95%	7,33E-12	6,30E-12	7,16E-12			6,93E-12	5,52E-13
Máscara 38	A95%	7,60E-12	7,93E-12	8,67E-12			8,07E-12	5,48E-13
Máscara 43	A95%	1,29E-11	1,04E-11	6,82E-12			1,01E-11	3,08E-12
Máscara 39	A98%	1,24E-11	1,16E-11	9,28E-12			1,11E-11	1,62E-12
Máscara 40	A98%	1,17E-11	7,85E-12	7,63E-12			9,07E-12	2,31E-12
Máscara 44	A98%	6,74E-12	7,72E-12	6,62E-12			7,03E-12	6,06E-13

Máscara 35	C1	1,12E-11	1,56E-11	1,36E-11			1,35E-11	2,22E-12
Máscara 36	C1	2,29E-11	1,19E-11	1,04E-11			1,51E-11	6,79E-12
Máscara 45	C1	1,16E-11	1,04E-11	1,28E-11			1,16E-11	1,19E-12
Máscara 41	D	1,35E-11	1,17E-11	1,11E-11			1,21E-11	1,25E-12
Máscara 42	D	9,93E-12	1,08E-11	1,11E-11			1,06E-11	6,33E-13
Máscara 46	D	1,66E-11	9,66E-12	1,09E-11			1,24E-11	3,69E-12
Máscara 47	A95%	1,56E-11	1,72E-11	1,63E-11	1,72E-11	1,66E-11	1,66E-11	6,68E-13
Máscara 48	A95%	1,73E-11	1,64E-11	1,46E-11	1,49E-11	1,42E-11	1,55E-11	1,30E-12
Máscara 49	A95%	1,62E-11	1,80E-11	1,55E-11	1,77E-11	1,79E-11	1,71E-11	1,10E-12
Máscara 50	A98%	1,79E-11	1,85E-11	1,98E-11	1,87E-11	1,69E-11	1,84E-11	1,06E-12
Máscara 51	A98%	1,84E-11	1,75E-11	1,74E-11	1,66E-11	1,66E-11	1,73E-11	7,54E-13
Máscara 52	A98%	1,66E-11	1,66E-11	1,59E-11	1,53E-11	1,54E-11	1,59E-11	6,17E-13
Máscara 56	C1	1,86E-11	1,93E-11	1,85E-11	1,96E-11	1,88E-11	1,90E-11	4,86E-13
Máscara 57	C1	1,66E-11	1,94E-11	1,68E-11	1,67E-11	1,93E-11	1,78E-11	1,44E-12
Máscara 58	C1	1,70E-11	2,09E-11	1,82E-11	1,88E-11	1,76E-11	1,85E-11	1,52E-12
Máscara 59	D	1,35E-11	1,25E-11	1,19E-11	1,30E-11		1,28E-11	6,78E-13
Máscara 60	D	1,38E-11	1,49E-11	1,21E-11	1,26E-11		1,34E-11	1,27E-12
Máscara 79	E	1,12E-11	1,19E-11	1,04E-11	9,40E-12		1,07E-11	1,10E-12
Máscara 67	A95%	1,62E-11	1,35E-11	1,49E-11	2,56E-11		1,76E-11	5,49E-12
Máscara 73	A95%	1,73E-11	1,60E-11	1,46E-11	1,75E-11		1,63E-11	1,34E-12
Máscara 68	A98%	1,62E-11	1,83E-11	1,71E-11	1,84E-11		1,75E-11	1,05E-12
Máscara 74	A98%	1,77E-11	1,78E-11	1,97E-11	2,24E-10		6,98E-11	1,03E-10
Máscara 69	B	6,75E-12	6,53E-12	6,08E-12	6,06E-12		6,35E-12	3,39E-13
Máscara 75		5,84E-12	6,04E-12	6,16E-12	5,74E-12		5,94E-12	1,91E-13
Máscara 70	C1	1,90E-11	1,87E-11	2,06E-11	1,84E-11		1,92E-11	9,97E-13
Máscara 76		1,83E-11	1,74E-11	1,80E-11	1,80E-11		1,79E-11	4,11E-13
Máscara 71	C2	6,66E-10	7,88E-10	7,41E-10	8,57E-10		7,63E-10	8,02E-11
Máscara 77		6,91E-10	7,15E-10	7,62E-10	6,62E-10		7,08E-10	4,24E-11
Máscara 72	E	1,12E-11	1,16E-11	1,14E-11	1,07E-11		1,12E-11	3,71E-13
Máscara 79	E	1,12E-11	1,19E-11	1,04E-11	9,40E-12		1,07E-11	1,10E-12
Máscara 80	E	1,09E-11	9,93E-12	1,13E-11	1,01E-11		1,06E-11	6,84E-13
Máscara 83	F	1,51E-11	1,74E-11	1,64E-11	1,77E-11		1,66E-11	1,20E-12
Máscara 84		1,70E-11	1,70E-11	1,69E-11	1,72E-11		1,70E-11	1,36E-13
Máscara 87	A98%	1,93E-11	2,07E-11	1,77E-11	1,87E-11	1,74E-11	1,88E-11	1,34E-12
Máscara 88	A98%	1,99E-11	1,85E-11	1,77E-11	1,89E-11		1,87E-11	9,38E-13
Máscara 89	A98%	1,83E-11	1,99E-11	1,96E-11	1,96E-11		1,93E-11	7,16E-13
Máscara 90	A98%	2,03E-11	2,11E-11	1,89E-11	2,10E-11		2,03E-11	9,93E-13