

Análise de permeabilidade de máscaras desenvolvidas para enfrentamento de emergências e desastres biológicos: pesquisa laboratorial

Permeability analysis of masks developed for biological emergency and disaster response: a laboratory study

Análisis de permeabilidad de mascarillas desarrolladas para enfrentar emergencias y desastres biológicos: investigación de laboratorio

Lisandra Rodrigues Risi^I ; Annibal José Roris Rodriguez Scavarda do Carmo^{II} ; Anupong Wongchai^{III} ;
Shahadat Khan^{IV} ; Margarida Maria Rocha Bernardes^V ; Alexandre Barbosa de Oliveira^I 

^IUniversidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil; ^{II}Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

^{III}Chiang Mai University. Chiang Mai, Tailândia; ^{IV}RMIT University. Melbourne, Victoria, Austrália; ^VEscola Superior de Guerra. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO

Objetivo: analisar permeabilidade do ar de máscaras desenvolvidas para enfrentamento de emergências biológicas. **Método:** estudo laboratorial, com testes de modelos de máscaras de tecido com inserção de elemento filtrante em celulose (LisLu20[®]), confeccionados durante pandemia do coronavírus tipo-2, máscaras cirúrgicas descartáveis, PFF2/N95, e máscaras domésticas em algodão. Análises realizadas em maio e junho de 2020, de acordo com norma ASTM D 737:2018. **Resultados:** realizados seis ensaios para dez unidades de cada máscara. LisLu20[®] (a) - duas camadas: 8,6 cm³/s/cm²; LisLu20[®] (b) - três camadas tipo asiática: 6,2 cm³/s/cm²; LisLu20[®] (c) - três camadas tipo PFF2/N95: 4,8 cm³/s/cm²; máscara cirúrgica descartável: 18,0 cm³/s/cm²; máscara PFF2/N95: 10,2 cm³/s/cm²; máscara de malha de algodão: 31,1 cm³/s/cm². **Conclusão:** máscaras LisLu20[®] realizaram barreira física e com método de prevenção/redução de riscos para infecções respiratórias. Produto doméstico, barato e sustentável, serviu de apoio emergencial complementar para reduzir os impactos da escassez de máscaras cirúrgicas descartáveis.

Descritores: Infecções por Coronavírus; COVID-19; Equipamento de Proteção Individual; Máscaras; Aprovisionamento.

ABSTRACT

Objective: to analyze the air permeability of masks developed for biological emergency response. **Method:** laboratory study involving tests on cloth masks with a cellulose filter element (LisLu20[®]), produced during the COVID-19 pandemic, disposable surgical masks, PFF2/N95 masks, and homemade cotton masks. Analyses were conducted in May and June 2020, following ASTM D 737:2018 standards. **Results:** six tests were conducted on ten units of each mask. LisLu20[®] (a) - two layers: 8.6 cm³/s/cm²; LisLu20[®] (b) - three layers, Asian style: 6.2 cm³/s/cm²; LisLu20[®] (c) - three layers, PFF2/N95 style: 4.8 cm³/s/cm²; Disposable surgical mask: 18.0 cm³/s/cm²; PFF2/N95 mask: 10.2 cm³/s/cm²; Cotton knit mask: 31.1 cm³/s/cm². **Conclusion:** LisLu20[®] masks provided a physical barrier and served as a preventive method to reduce respiratory infection risks. As a low-cost, sustainable domestic product, they offered complementary emergency support to mitigate the shortage of disposable surgical masks.

Descriptors: Coronavirus Infections; COVID-19; Personal Protective Equipment; Masks; Supply.

RESUMEN

Objetivo: analizar la permeabilidad al aire de mascarillas desarrolladas para enfrentar emergencias biológicas. **Método:** estudio de laboratorio, con realización de pruebas a modelos de mascarillas de tela con inserción de elemento filtrante de celulosa (LisLu20[®]), fabricadas durante la pandemia de coronavirus tipo 2, mascarillas quirúrgicas desechables, PFF2/N95, y mascarillas domésticas de algodón. El análisis se realizó en mayo y junio de 2020, de acuerdo con la norma ASTM D 737:2018. **Resultados:** se realizaron seis ensayos con diez unidades de cada mascarilla. LisLu20[®] (a) - dos capas: 8,6 cm³/s/cm²; LisLu20[®] (b) - tres capas tipo asiática: 6,2 cm³/s/cm²; LisLu20[®] (c) - tres capas tipo PFF2/N95: 4,8 cm³/s/cm²; mascarilla quirúrgica desechable: 18,0 cm³/s/cm²; mascarilla PFF2/N95: 10,2 cm³/s/cm²; mascarilla de tela de algodón: 31,1 cm³/s/cm². **Conclusión:** Las mascarillas LisLu20[®] actuaron como barrera física y método para prevenir/reducir los riesgos de infecciones respiratorias. Es un producto doméstico, barato y sostenible, que sirvió como apoyo de emergencia complementario para reducir los impactos de la escasez de mascarillas quirúrgicas desechables.

Descriptores: Infecciones por Coronavirus; COVID-19; Equipo de Protección Personal; Máscaras; Aprovisionamiento.

INTRODUÇÃO

Desde a identificação inicial da doença causada pelo coronavírus do tipo 2 (COVID-19), na República Popular da China em dezembro de 2019, o cenário social global passou a ser caracterizado por uma série de circunstâncias complexas e atípicas, permeadas por sentimentos coletivos de caos, angústia, temor e incertezas. Tais aspectos foram

Artigo derivado de tese de doutoramento desenvolvida no âmbito da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Autora correspondente: Lisandra Rodrigues Risi. E-mail: proflisandraris@gmail.com

Editora Chefe: Cristiane Helena Gallasch; Editora Associada: Magda Guimaraes de Araujo Faria

agravados por uma limitação científica e cultural de incorporação de evidências sobre a compreensão dos sinais clínicos da nova doença, sua sintomatologia, possíveis terapêuticas clínicas e farmacológica, disponibilidade de suprimentos essenciais e organização de planos emergenciais. Essa mobilização precisava conter, minimizar e salvaguardar a saúde das pessoas, com o objetivo primordial de interromper a propagação daquela impactante doença e, assim, salvar o maior número possível de vidas, propósito central das ações de gestão do risco de emergências em saúde pública e desastres.

Do ponto de vista dos profissionais envolvidos nos locais de trabalho e responsáveis pelos materiais de proteção, o debate sobre as máscaras, na época, foi uma espécie de enigma: a utilidade do uso de máscaras deveria ser óbvia. Vírus como o da COVID-19 povoam o trato respiratório¹ e, durante falar, cantar, tossir e espirrar, são expelidos para o ar ambiente em pequenas gotículas e aerossóis^{2,3}. Máscaras justas de vários tecidos e filtros de conteúdo de fibra às gotículas e aerossóis do ar que respiramos se apresentaram com diversas eficiências⁴.

Tal problemática mostra-se ainda relevante e ressalta-se que a biblioteca Cochrane divulgou sua atualização antecipada sobre intervenções físicas para controlar a propagação de vírus respiratórios, incluindo máscaras para conter a propagação do coronavírus e da síndrome respiratória aguda grave, mesmo após o decretar do fim da pandemia⁵.

No Brasil, país que figurou entre aqueles mais atingidos e com maior número de cidadãos mortos, vivenciou-se uma interrupção abrupta no fornecimento de recursos materiais e consumo elevado de máscaras hospitalares pela população em geral no início do ano de 2020, que resultou em um aumento significativo nos preços, fatos que geraram a escassez e mesmo desabastecimento de equipamentos de proteção individual (EPI).

Diante dessa situação, orientada pelas indicações da Organização Mundial da Saúde (OMS), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) passou a recomendar o uso de máscaras de tecido não profissionais, considerando que este tipo de material passou a ser uma opção viável e plausível para controlar o avanço da pandemia⁶, com uma base científica para a sinalização de uma redução significativa na taxa de transmissão quando as pessoas estavam utilizando máscaras, o que tem implicações úteis para a política, apesar do cenário caótico que passava por constantes mudanças de imunidade e comportamento⁷.

Com o desabastecimento de EPI convergindo com suas implicações para a qualidade e segurança da assistência nos estabelecimentos de saúde brasileiros, membros do Grupo de Ensino, Pesquisa e Extensão de Saúde em Emergências e Desastres, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GPESED/UFRJ), buscaram estudos sobre possíveis tecnologias e estratégias de resposta emergencial frente a esse desastre biológico, com o desenvolvimento de tecnologias em saúde voltadas à logística em situações de emergências e desastres⁸.

Assim, as máscaras de tecido não profissionais passaram a ganhar não somente relevância epidemiológica, mas também popularidade, devido aos discursos autorizados de grandes setores, agências e organizações mundiais sobre a sua capacidade potencial de prevenção/redução de riscos de disseminação da COVID-19. Ao mesmo tempo, tais orientações ajudaram a reduzir a significativa demanda por máscaras hospitalares destinadas mais especialmente aos profissionais de saúde, empenhados no cuidado pacientes em cenários de assistência, ou seja, de maior risco⁹⁻¹¹. Dessa forma, a adesão ao uso de máscaras de tecido emergiu como uma estratégia voluntária de saúde pública (inter)nacional para o controle social do SARS-CoV-2 e suas variantes¹².

Com efeito, desde o início da pandemia de COVID-19, uma corrida mundial em busca de máscaras de proteção fez com que elas sumissem das prateleiras. Por seu turno, o Ministério da Saúde (MS) do Brasil passou a realizar compras de fornecedores nacionais e internacionais, em grandes quantidades, a fim de garantir a proteção dos profissionais que atuavam em estabelecimentos de saúde^{13,14}.

Para que a qualidade e a segurança desses equipamentos de proteção individual sejam garantidas, há que se testar a permeabilidade do ar para ser demonstrada a eficiência da filtração. Compreende-se que a permeabilidade do ar está diretamente relacionada à capacidade da máscara de filtrar partículas transportadas pelo ar, para tanto o tecido de algodão para este estudo atendia à norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - Norma Brasileira (NBR) 14027/9¹⁵.

As recomendações do MS apontavam para a produção de modelos simples de máscaras de tecido, divulgadas por meio de ampla campanha pública que visava a mobilização da população para a o uso/confecção de suas próprias máscaras de tecido. Foi enfatizado que, para servir de barreira física eficaz, as máscaras caseiras deveriam seguir algumas especificações, incluindo: ter pelo menos duas camadas de tecido, ou seja, ser de dupla face; ser de uso individual e não compartilhada com outras pessoas; utilizar materiais para a confecção a partir de tecidos de algodão, tricoline, TNT ou outros afins, desde que cobrissem completamente o nariz e a boca; e, além disso, higienizar adequadamente as máscaras e ajustá-las bem ao rosto, sem deixar espaços nas laterais¹⁶.

A OMS e o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) aconselharam o uso de máscaras de tecido para população em geral, sendo confeccionadas com pelo menos três camadas, pois dessa forma, existia a redução da quantidade de partículas emitidas ao ambiente quando a região da boca do indivíduo estaria coberta. A utilização dessas máscaras com várias camadas, bloqueava com eficiência as gotículas respiratórias entre 1-10 μm ¹⁷. Nesse sentido, uma máscara de tecido com menor porcentagem de permeabilidade pode ser mais eficaz em filtrar partículas virais do ar, reduzindo o risco de infecção. Ademais, máscaras de tecido com boa permeabilidade ajudam a proteger tanto o usuário quanto as pessoas ao redor, evitando que partículas virais entrem no sistema respiratório do usuário e impedindo que o usuário expulse partículas virais no ambiente, especialmente se estiverem infectados e assintomáticos.

A partir desse movimento inicial de necessidade de redução de risco, foi operacionalizado pelo GEPESED/UFRJ o desenvolvimento de máscaras de tecido por meio da confecção de protótipos adaptados ao formato facial comumente observado entre a população brasileira, com o diferencial da inclusão de um elemento filtrante em celulose, que pudesse propiciar uma barreira física supostamente mais eficaz. Desse modo, as máscaras denominadas LisLu20[®] foram produzidas com duas ou três camadas de tecido de tricoline 100% algodão, a depender do modelo. Quando inserido o elemento filtrante em celulose, as máscaras passavam a ter mais uma camada.

Em função disso, neste estudo teve-se como objetivo analisar a permeabilidade do ar de máscaras desenvolvidas para enfrentamento de emergências e desastres biológicos. Foram previstas máscaras de tecido com mais de duas camadas, diferindo das primeiras orientações do Ministério da Saúde do Brasil, que recomendavam o uso de máscaras de tecido com apenas duas camadas, sem o elemento filtrante, conforme nota informativa n^o 3/2020-CGGAP/DESF/SAPS/MS, publicada em 02 de abril de 2020¹⁶.

MÉTODO

Trata-se de estudo laboratorial, cuja condução foi determinada pelo desenvolvimento de três modelos de máscara de tecido, denominadas no processo de registro de marca como “LisLu20[®]”, com a previsão de inserção de um elemento filtrante em celulose (filtro de café). Para garantir a validade do estudo, foram selecionadas variáveis mensuráveis relacionadas a estratégias de controle e de observação de efeitos⁸.

A equipe de pesquisa contou com membros do GEPESED/UFRJ, bem como artesãs, que participaram dos processos de elaboração, ajuste de formato e homologação dos diferentes modelos de máscaras de tecido em tricoline 100% algodão, por meio de ensaios domésticos preliminares⁷.

Foram desenvolvidos três testes empíricos preliminares, cujos resultados foram socializados, e publicizados por meio de redes sociais. O vídeo está disponível no endereço eletrônico: <https://youtu.be/vhoRRwB7pHA>⁸. Essa operação motivou o desenvolvimento da segunda etapa da pesquisa, a partir de ensaios em laboratório habilitado pela ANVISA¹⁸.

Dentre os modelos desenvolvidos e testados, foram considerados os seguintes: LisLu20[®] A, que é uma máscara de tecido em tricoline 100% algodão com clip nasal, pregas e duas camadas de tecido, similar ao *design* de máscaras cirúrgicas com uma fenda para poder inserir o elemento filtrante, sendo esta a terceira camada, como demonstra a Figura 1.



Figura 1: Máscara de tecido LisLu20[®] A. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

Já a LisLu20[®] B foi desenvolvida também em tricoline 100% algodão, a partir de uma modelagem em formato retangular, sem clip nasal. Esta forma já era muito utilizada na Ásia, mesmo antes da pandemia de COVID-19. Em geral,

possui três camadas de tecido, cuja terceira funciona como suporte para a inserção de elemento filtrante em celulose, o que vem a complementar a quarta camada, conforme é demonstrado na Figura 2.



Figura 2: Máscara de tecido LisLu20® B. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

Por último, foi testado o modelo da máscara LisLu20® C, em formato de concha com clip nasal e constituída por três camadas de tecido em tricoline 100% algodão, sendo semelhante ao *design* das máscaras N95/PFF2. Neste modelo, a última camada em tecido funciona como suporte para a inserção do elemento filtrante em celulose, o que resulta em quatro camadas, como está demonstrado na Figura 3.



Figura 3: Máscara de tecido LisLu20® C. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

Ressalta-se que as máscaras LisLu20® foram elaboradas para além das diretrizes estabelecidas pelo Ministério da Saúde (Brasil), conforme foi descrito na Nota Informativa n° 3/2020-CGGAP/DESF/SAPS/MS e na Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA n° 4/2020. Essas notas visaram estabelecer orientações sobre a produção de máscaras de tecido de algodão, as quais foram direcionadas tanto à população em geral quanto aos serviços de saúde, a fim de dar suporte às medidas de prevenção e controle emergencial da COVID-19, as quais foram adotadas durante a assistência a casos suspeitos ou confirmados de infecção¹⁰.

A operacionalização da pesquisa laboratorial foi conduzida em duas etapas distintas. A primeira teve como foco a identificação do teste mais adequado para validar a eficácia das máscaras de tecido com a inserção do elemento filtrante em celulose. Já na segunda, foi selecionado um laboratório reblado, que pudesse realizar os ensaios necessários⁸. Após a escolha, o próximo passo consistiu na separação do número adequado de amostras das máscaras para submissão aos ensaios, seguindo os critérios estabelecidos pela instituição responsável. Além das máscaras LisLu20®, foi prevista, para efeito de comparação, a inclusão de máscaras cirúrgicas descartáveis, máscaras com filtro N95/PFF2 e máscaras em malha de algodão comercializadas à época⁸.

Por meio do laboratório reblado selecionado, buscou-se obter orientações para ser determinado o melhor ensaio que pudesse comparar a utilização do elemento filtrante nos três modelos de máscaras de tecido LisLu20® e as máscaras comercializadas no mercado. Tais orientações foram fornecidas pelo Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (CETIQT), unidade do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), localizado no estado do Rio

de Janeiro (Brasil). Devido à falta de diretrizes específicas para a validação de máscaras de uso não profissional naquele momento, foram sugeridos ensaios para avaliar a permeabilidade do ar.

Ressalta-se que o laboratório selecionado pertence à Rede Brasileira de Laboratórios Analíticos em Saúde (REBLAS), que consiste em uma rede de unidades públicas e privadas habilitadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A utilização dos laboratórios reblados teve como propósito atestar os resultados preliminarmente obtidos, no qual foi constatado que a adição de um filtro de celulose nas máscaras resultava em maior dificuldade na passagem de aerossóis⁸, por meios de testes empíricos.

No final de abril de 2020, iniciou-se o processo de obtenção do relatório de ensaio, assinado por meio de certificado digital ICP-Brasil pelo signatário autorizado do laboratório. Assim, a proposta deste estudo foi aprovada e cadastrada a partir da assinatura da primeira autora deste artigo.

Para o desenvolvimento dos ensaios físicos, foram disponibilizadas dez unidades de cada tipo de máscara. Os modelos LisLu20[®] seguiram a mesma padronagem de estampa, pois a pigmentação do tecido poderia alterar o resultado final. Os demais modelos foram submetidos aos testes na mesma quantidade (dez unidades). Para todas estas, foram juntamente disponibilizadas informações documentais adicionais, como Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ), Autorização de Funcionamento da Empresa (AFE) e registro na ANVISA, para verificação e análise de conformidade.

Todas as amostras foram identificadas e acompanhadas do número da proposta referente ao orçamento dos ensaios, além de seguirem com uma descrição detalhada das provas. Tais informações foram fornecidas por meio do preenchimento de formulários disponibilizados pelo próprio laboratório. Este documento também continha instruções específicas para a realização dos ensaios físicos nas máscaras de tecido caseiras LisLu20[®] com inserção de elemento filtrante, nas máscaras cirúrgicas descartáveis e com filtro N95/PPF2 disponíveis no mercado, sendo ambas industrializadas e destinadas ao uso por profissionais de saúde, e, ainda, as máscaras de tecido em malha de algodão, que estavam sendo comercializadas na época.

Assim, os ensaios físicos buscaram comparar a permeabilidade ao ar a partir da seleção dessas diferentes máscaras, a fim de instruir com mais segurança a possibilidade de tomada de decisão sobre a sua indicação seja por gestores e profissionais de saúde, seja por cidadãos comuns. Para tanto, a execução objetiva e precisa dos ensaios físicos foi orientada pela norma técnica ASTM D 737:2018 estabelecida pelo ASTM *International*, que aponta diretrizes para a determinação da taxa de fluxo de ar através de materiais porosos¹⁹.

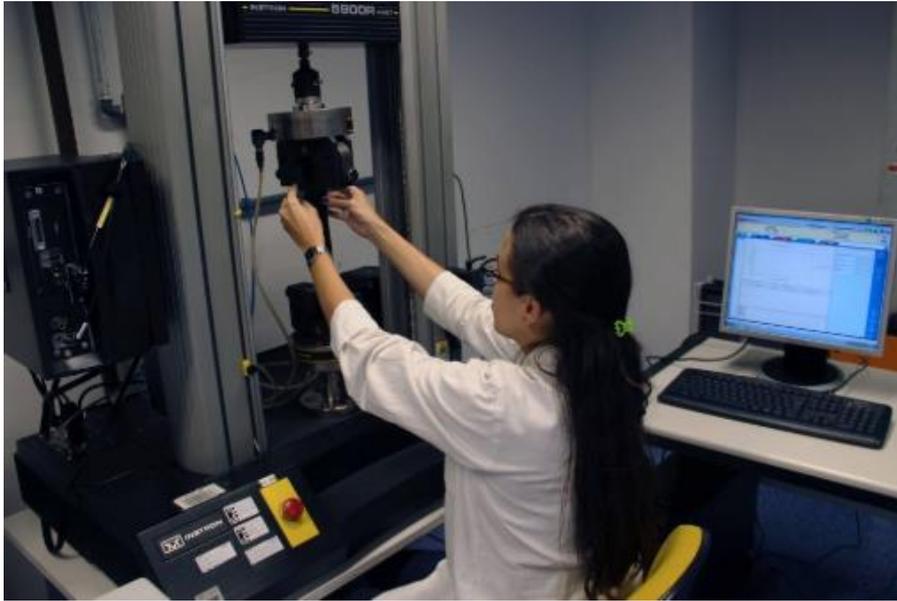
Os relatórios que documentaram os resultados de cada um dos produtos testados forneceram informações detalhadas sobre a permeabilidade ao ar de cada tipo de máscara, o que permitiu estabelecer medidas claras de comparação entre elas.

Ressalta-se que o ensaio de permeabilidade ao ar comumente é utilizado para medir a capacidade de penetração de gases em materiais poliméricos, como filmes, revestimentos e diversos tipos de tecidos, incluindo tecidos não tecidos (TNT), tecidos para bolsas de ar, cobertores, tecidos de lã, de malha, laminados e felpudos. Os tecidos podem ser não tratados, altamente dimensionados, revestidos, tratados com resina ou com outros tipos de materiais¹⁹.

A permeabilidade ao ar desse tipo de material é uma medida da facilidade com que as partículas de gás podem atravessar o seu corpo físico. Geralmente, é expressa em termos de propriedade de ventilação, o que representa a quantidade de ar que passa através de uma unidade de área do tecido em uma unidade de tempo, sob uma diferença de pressão específica¹⁹.

Neste estudo, as medições de taxa de fluxo de ar foram realizadas perpendicularmente, utilizando-se uma porção de cada máscara com dimensões de 10cm x 10cm e, por meio desta área, realizou-se a leitura da queda de pressão e tempo ajustados ao diferencial de pressão de ar específico entre as duas superfícies do tecido. As condições incluíram, para os ensaios, a temperatura e a umidade, com o objetivo de selecionar as condições adequadas e representativas, para as quais se estabelecem um padrão industrial para o comércio, não possui valores específicos, sendo somente a barreira física em porcentagem.

O procedimento de ensaio consistiu em fixar a amostra do tecido na bancada de avaliação, garantindo que não houvesse bordas ou dobras no tecido. Em seguida, o teste de permeabilidade ao ar foi iniciado, ajustando-se a pressão diferencial para um nível estável e registrando os resultados do teste. O ensaio foi repetido várias vezes e em diferentes partes da mesma amostra, mantendo-se as mesmas condições. A permeabilidade ao ar de cada amostra foi medida diretamente no instrumento de teste do laboratório reblado, sendo expressa em unidades do Sistema Internacional (SI), como cm³/s/cm². A Figura 4 apresenta uma imagem do equipamento utilizado no laboratório do SENAI/CETIQT.



Fonte: Imagem <https://senaicetiqt.com/tecnologia/metrologia/laboratorio-de-ensaios-fisicos/>
Figura 4: Equipamento para análise de permeabilidade do ar. Rio de Janeiro, RJ, Braiso, 2020.

O processo de solicitação de orçamento e emissão dos laudos levou aproximadamente 60 dias, abrangendo todas as etapas do estudo. O custo total para realização dos ensaios de bancada e ensaios de permeabilidade foi de R\$1.920,00. Uma vez submetidas aos ensaios, todas as amostras foram descartadas.

RESULTADOS

Para a análise de permeabilidade ao ar dos três modelos de máscaras de tecido LisLu20[®], juntamente com máscaras cirúrgicas descartáveis, máscaras com filtro N95/PFF2 industrializadas e as máscaras de malha de algodão de duas camadas, foram utilizadas 60 unidades e 30 filtros de celulose.

Os resultados obtidos por meio dos laudos técnicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de permeabilidade ao ar (ac) submetidos ao laboratório SENAI/CETIQT – RJ – método ASTM D737:2018. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

Tipo	Amostra	Código e data	Resultado (cm ³ /s/cm ²)
Máscaras desenvolvidas pelo estudo (com filtro de celulose)	Máscara de tecido duas camadas LisLu20 [®] A	1347/20-01 20/05/2020	8,6
	Máscara de tecido três camadas tipo asiática LisLu20 [®] B	1349/20-01 20/05/2020	6,2
	Máscara de tecido três camadas tipo N95 (concha) LisLu20 [®] C	1748/20-01 06/07/2020	4,8
Máscaras industrializadas	Máscara cirúrgica descartável – produto para saúde	1353/20-01 20/05/2020	18,0
	Máscara N95/PFF2 – produto para saúde	1354/20-01 20/05/2020	10,2
	Máscara de malha de algodão duas camadas	1355/20-01 20/05/2020	31,1

Fonte: Relatório do laboratório SENAI/CETIQT. Rio de Janeiro, RJ, Brasi), 2020.

Constatou-se que as máscaras de tecido LisLu20[®] apresentaram valores satisfatórios em comparação a barreira física estabelecida pelas leituras de todas as máscaras que foram inseridas no ensaio. Todavia, não existe uma escala proposta pelo laboratório que possa ser estabelecida como parâmetro, apenas a comparabilidade entre os produtos. Interpreta-se que os valores relacionados à medição da permeabilidade ao ar foram inferiores aos das máscaras industrializadas.

As máscaras de tecido, com adição de um filtro de elemento de celulose, demonstram uma capacidade de barreira física. Essa constatação é sustentada mediante comparação com as máscaras industrializadas testadas, que também possuem uma barreira física constituída por filtros incorporados em seu processo de fabricação. Pode-se observar que quando inserido o filtro de café a velocidade da permeabilidade do ar por conta das tramas de celulose diminuem, porém a segurança da barreira física com a não passagem das gotículas permanece.

Na avaliação da permeabilidade ao ar das máscaras fabricadas em malha de algodão com duas camadas e sem elemento filtrante, observou-se maior valor de permeabilidade ao ar, com um resultado de $31,1 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$. Isso indica que essas máscaras permitem uma passagem de ar aproximadamente seis vezes mais rápida do que a máscara LisLu20® C, que apresenta o valor de $4,8 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$.

Já as máscaras industrializadas destinadas a uso profissional apresentaram maior permeabilidade, com valores de $18\% \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$ e $10,2\% \text{ cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2$, em comparação com todos os modelos das máscaras de tecido LisLu20®, que possuem a inserção de elemento filtrante em celulose.

Depreende-se que, no momento que foi vivenciado durante a pandemia, as máscaras LisLu20® podiam ser utilizadas com segurança pela sociedade. No que tange a barreira física pelo ensaio da permeabilidade ao ar, pode-se entender que as máscaras industrializadas possuem melhor tecnologia onde existem outros meios conforme normativas para produtos para saúde que conotem a sua eficácia e proteção.

DISCUSSÃO

A partir do início do processo de ruptura brusca de abastecimento de máscaras para uso profissional e do cenário caótico instalado pela pandemia da COVID-19, pesquisadores e autoridades sanitárias de todo o mundo passaram a traçar diretrizes para as principais formas de proteção, tanto para a equipe de saúde, como para as pessoas com quadro clínico suspeito, inclusive àqueles com diagnóstico da doença em tratamento domiciliar²⁰. A partir disso, intensificaram-se sobremaneira o uso de EPI e a observância de medidas de proteção coletiva (EPC), como forma de controle do avanço da COVID-19¹⁴.

Oportunamente, a Organização Mundial da Saúde manifestou potenciais vantagens sobre o uso das máscaras caseiras por pessoas saudáveis na comunidade, como a redução do risco de exposição a uma pessoa infectada assintomática ou exposição a uma pessoa infectada durante o período pré-sintomático¹⁴. Soma-se a isso, a preocupação sobre a conservação do uso de máscaras de tecido pela comunidade para ajudar a reservar as máscaras profissionais para os profissionais de saúde da linha de frente²¹. Considerando o elevado nível de transmissibilidade durante a pandemia da COVID-19, as estratégias adotadas visavam conter a propagação de gotículas e reduzir os riscos de infecções respiratórias na população em geral.

Enquanto equipamentos de proteção individual, as máscaras são dispositivos que geralmente atuam como barreiras físicas, diminuindo a exposição e o risco de transmissão de infecções. O efeito protetor das máscaras compreende o somatório de alguns fatores, tais como o potencial de bloqueio da transmissão das gotículas, o adequado ajuste e menor vazamento de ar relacionado ao uso da máscara, o grau de aderência ao uso e o descarte adequado¹⁰.

Estudos experimentais durante o surto da SARS, que ocorreu em 2003, indicaram que as gotículas de pacientes poderiam atingir um alcance de aproximadamente dois metros de sua fonte¹². Nesse sentido, a adoção do uso de máscaras vem sendo reiterada para a prevenção de transmissão de agentes infecciosos por gotículas²¹.

Durante a pandemia de COVID-19, o uso dessas máscaras de tecido, com a possibilidade de reutilização, desempenhou um papel importante, especialmente para indivíduos sintomáticos em ambiente domiciliar, cuidadores e pessoas que residem em habitações com múltiplos ocupantes. Além disso, essas máscaras foram aplicadas em instituições de longa permanência de idosos e em locais com aglomerações, como transporte público. Em situações de escassez, as máscaras de tecido também foram utilizadas para suprir a demanda dos profissionais de saúde durante o pico da disseminação do vírus.

A partir da análise dos ensaios realizados, as máscaras de tecido desenvolvidas por meio da tese de doutoramento da primeira autora buscaram ajudar a reduzir a exposição a agentes biológicos¹⁰. Tanto assim que os dados obtidos neste estudo laboratorial corroboram sua eficácia como barreira física. Acredita-se que esses dispositivos de proteção, confeccionados artesanalmente de acordo com as diretrizes dos órgãos sanitários de cada país, podem vir a contribuir futuramente para a prevenção da transmissão de doenças semelhantes à COVID-19 na comunidade, com o intuito de reduzir os potenciais riscos, especialmente em países mais vulneráveis¹⁰.

A confecção e a inserção das camadas, bem como o elemento filtrante em celulose, conforme os modelos apresentados no estudo, demonstraram que quanto maior o número de camadas, mais eficiente é a barreira oferecida. Além disso, o *design*

do modelo LisLu20® C, em formato de concha, proporciona melhor vedação, resultando na menor permeabilidade ao ar, com um valor de 4,8 cm³/s/cm².

Os dados dos ensaios demonstraram que as máscaras de tecido LisLu20®, com elemento filtrante em celulose, apresentaram nível de barreira à permeabilidade ao ar menor em relação às máscaras de tecido industrializadas e às máscaras em malha de algodão. Essa diferença indica que seu uso tem potencial para proteger e minimizar os riscos. Ressalta-se que as instruções sobre como usar, lavar e reusar, e o descarte do elemento filtrante, foram redigidas em formato de cartilha para todos os modelos LisLu20®^{8,21}.

O desenho das máscaras de tecido desempenha um papel importante na sua eficácia, especialmente em termos de ajuste ao rosto e vedação abrangente. Isso é essencial para garantir uma proteção adequada, conforme destacado na literatura científica²⁰. A capacidade de filtração de diferentes tecidos varia amplamente, o que pode ser demonstrado como melhor opção são os tecidos 100% algodão, por ter um desempenho melhor. As máscaras de tecido, que têm de duas a três camadas com bom ajuste ao redor da face para evitar vazamento, são modelos preferíveis. Corroborando com os resultados do ensaio na máscara LisLu20®C, que obteve uma permeabilidade ao ar de 4,8 cm³/s/cm². Formas cônicas ou tetraédricas, que permitem uma adaptação estreita aos contornos faciais, têm demonstrado maior eficiência²².

No que diz respeito ao número de camadas, foi observado que a eficácia da barreira de permeabilidade melhora significativamente com o aumento do número de camadas de tecido, a proximidade dos fios do tecido de algodão, sendo este 100% tricolina e a redução do tamanho dos poros nesses fios. Em outras palavras, quanto menor o tamanho do poro, maior a capacidade de barreira. Estudos têm sugerido que tecidos compostos por 100% de fibras de algodão são mais recomendados nesse sentido^{23,24}. As fibras de algodão são duráveis, possuem propriedades que permitem que a pele respire, absorva a umidade e seca facilmente. E quanto mais longa as fibras, maior é a qualidade e a durabilidade do tecido.

Este estudo buscou dar visibilidade às máscaras de tecido, bem como ao identificar possíveis subsídios para promover melhorias, prevenir o adoecimento e minimizar danos aos trabalhadores que atuaram no enfrentamento da pandemia e para a sociedade²⁵.

Ressalta-se que, à época dos testes, não havia diretrizes claras sobre como produzir máscaras de tecido atendendo a critérios bem estabelecidos de segurança e efetividade. Há que se considerar ainda o conforto e usabilidade, a fim de que seja possível usar a máscara por longos períodos, compreendendo-se que máscaras muito permeáveis podem não fornecer proteção adequada²⁶. Por outro lado, se forem muito restritivas, podem dificultar a respiração e causar desconforto. Outro ponto a ser considerado é a conformidade e aceitação pública, o que depende de medidas tomadas por autoridades de saúde pública, que podem disciplinar o uso de máscaras, aumentando a aceitação da população de medidas de proteção e, consequentemente, reduzindo a propagação do vírus.

Limitações do estudo

Como limitação do estudo, cita-se que outros elementos podem influenciar na permeabilidade das máscaras testadas. Há necessidade de avanço nas pesquisas sobre a influência de fatores como a umidade decorrente da expiração, tempo de uso, frequência e troca, e modo de lavagens a que as máscaras podem ser submetidas antes do descarte.

CONCLUSÃO

O estudo tem o efeito de demonstrar a necessidade de desenvolvimento de novos produtos e tecnologias em saúde, considerando as demandas geradas pelas situações de emergências em saúde pública e desastres biológicos, o que envolve a busca por alternativas eficientes capazes de melhorar o padrão de resposta, sobretudo dos países e comunidades mais vulneráveis socioeconomicamente.

Evidenciou-se que as máscaras de tecido confeccionadas artesanalmente, com a inserção de filtro em celulose e seguindo as orientações dos órgãos sanitários, desempenharam papel de prevenção e redução do risco de transmissão da COVID-19. A máscara LisLu20®, avaliada por meio de ensaios de permeabilidade ao ar, foi atestada como uma opção promissora, especialmente para cidadãos e grupos mais expostos, constituindo-se como alternativa sustentável em função dos materiais que a constitui.

Prospectivamente, indica-se considerar o uso de máscaras de tecido com inserção do elemento filtrante em celulose pela população em eventos biológicos que possam exigir distanciamento social, inclusive pelos próprios profissionais de saúde e grupos específicos durante situações pandêmicas. No entanto, é necessário amplificar o desenvolvimento de pesquisas, a fim de expandir a compreensão sobre a eficácia desse tipo alternativo de equipamento de proteção individual, bem como análises de custo-efetividade.

Por fim, ressalta-se que a proposição de máscaras de tecido expressou os efeitos da pandemia de COVID-19, um fenômeno mundial de ruptura brusca no abastecimento de equipamentos de proteção individual certificados, o que amplificou o debate sobre ações mais efetivas de gestão do risco de emergências em saúde pública e desastres biológicos.

REFERÊNCIAS

1. Cevik M, Kuppalli K, Kindrachuk J, Peiris M. Virology, transmission, and pathogenesis of SARS-CoV-2. *BMJ*. 2020 [cited 2023 Jan 15]; 371:m3862 DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.m3862>.
2. Meselson M. Droplets and aerosols in the transmission of SARS-CoV-2. *N Engl J Med*. 2020 [cited 2023 Sep 20]; 382(21):2063. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMc2009324>.
3. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med*. 2020 [cited 2023 Aug 01]; 382(16):1564–7. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
4. Lindsley WG, Blachere FM, Law BF, Beezhold DH, Noti JD. Efficacy of face masks, neck gaiters and face shields for reducing the expulsion of simulated cough-generated aerosols. *Aerosol Sci Technol*. 2021 [cited 2023 Mar 11]; 55(4):449–57. DOI: <https://doi.org/10.1080/02786826.2020.1862409>.
5. Gurbaxani BM, Hill AN, Patel P. Unpacking Cochrane's Update on Masks and COVID-19. *Am J Public Health*. 2023 [cited 2023 Jan 11]; 113(10):1074–8. DOI: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2023.307377>.
6. World Health Organization. Infection prevention and control during health care when novel coronavirus infection is suspected: interim guidance, 25 January 2020. Geneva: WHO; 2020 [cited 2023 Feb 10]. Available from: [https://www.who.int/publications-detail/infection-prevention-and-control-during-health-care-when-novel-coronavirus-\(ncov\)-infection-is-suspected](https://www.who.int/publications-detail/infection-prevention-and-control-during-health-care-when-novel-coronavirus-(ncov)-infection-is-suspected).
7. Riley J, Huntley JM, Miller JA, Slachert ALB, Brown GD. Mask Effectiveness for Preventing Secondary Cases of COVID-19, Johnson County, Iowa, USA. *Emerg Infect Dis*. 2022 [cited 2023 Feb 10]; 28(1):69–75. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid2801.211591>.
8. Risi LR, Oliveira AB, Bernardes MMR, Ramos RS, Moutinho ECV, Passos AC. Development of tissue and cellulose masks for emergency response to the SARS-CoV-2 pandemic. *Rev. enferm. UERJ*. 2020 [cited 2023 Aug 16]; 28:e51476. DOI: <https://doi.org/10.12957/reuerj.2020.51476>.
9. World Health Organization. Infection prevention and control during health care when novel coronavirus infection is suspected: interim guidance, 19 March 2020. Geneva: WHO; 2020 [cited 2023 Feb 10]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/10665-331495>.
10. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Orientações Gerais – Máscaras faciais de uso não profissional. 2020 [cited 2023 Mar 11]. Available from: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/covid-19-tudo-sobre-mascaras-faciais-de-protecao/orientacoes-para-mascaras-de-uso-nao-profissional-anvisa-08-04-2020-1.pdf>.
11. World Health Organization. Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance. Geneva: World Health Organization; 2020 [cited 2023 Mar 11]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331693>.
12. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. Covid-19: orientações sobre o uso de máscaras de proteção. 2020 [cited 2023 Mar 10]. Available from: <https://www.fiocruzbrasil.fiocruz.br/covid-19-orientacoes-sobre-o-uso-de-mascaras-de-protecao/#:~:text=Na%20C3%BAltima%20semana%2C%20o%20Minist%C3%A9rio,barreiras%20na%20propaga%C3%A7%C3%A3o%20da%20doen%C3%A7a>.
13. Lima MMS, Cavalcante FML, Macêdo TS, Galindo-Neto NM, Caetano JA, Barros LM. Cloth face masks to prevent Covid-19 and other respiratory infections. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*. 2020 [cited 2023 Mar 11]; 28:e3353. DOI: <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4537.3353>.
14. Lozada G, Nunes KDS. Metodologia Científica. Porto Alegre: Grupo A, 2019.
15. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14.028: Roupas hospitalares - confecção de campo duplo. Rio de Janeiro: ABNT; 1997.
16. Brasil. Ministério da Saúde. Nota Informativa nº 3/2020-CGGAP/DESF/SAPS/MS. Estabelecem medidas de prevenção, cautela e redução de riscos de transmissão para o enfrentamento da COVID-19, fixam a utilização de Equipamentos de Proteção Individual. 2020 [cited 2023 Mar 11]. Available from: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-contenido/publicacoes/estudos-e-notas-informativas/2020/1586014047102-nota-informativa-pdf/view>
17. Leachi HFL, Bieniek AA, Peixe TS, Ribeiro RP. Estudo microscópico dos materiais utilizados para confecção de máscaras para proteção contra a COVID-19. 2021 [cited 2023 Mar 11]. DOI: <https://doi.org/10.5216/ree.v23.66859>.
18. Lozada G, Nunes KDS. Metodologia Científica. Porto Alegre: Grupo A, 2019.
19. ASTM Designation D737-2018. International standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT). 2018 [cited 2023 Mar 11]. Available from: https://www.intertekinform.com/en-au/standards/astm-d-737-2018-151282_saig_astm_astm_356061/.
20. Lam SKK, Hung MSY, Chien WT. Uncertainty surrounding the use of face masks in the community amid the COVID-19 pandemic. *Int J Nurs Stud*. 2020 [cited 2023 Dez 02]; 108:103651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2020.103651>
21. Silva RSM, Rocha LBA, Huang VP, Santos AKS, Imoto AM, Silva VM. Uso de máscara de tecido pela população na contenção da disseminação da COVID-19: scoping review. *Com. Ciências Saúde* 2020 [cited 2023 Dez 02]; 31:162–83. Available from: <https://revistaccs.escs.edu.br/index.php/comunicacaoemcienciasdasaude/article/view/730>.
22. Neupane BB, Mainali S, Sharma A, Giri B. Optical microscopic study of surface morphology and filtering efficiency of face masks. *PeerJ*. 2019 [cited 2023 Dez 11]; 7:e7142. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.7142>.
23. Silva ACO, Almeida AM, Freire MEM, Nogueira JA, Gir E, Nogueira WP. Cloth masks as respiratory protections in the COVID-19 pandemic period: evidence gaps. *Rev Bras Enferm*. 2020 [cited 2023 Dez 11]; 73(Suppl 2):e20200239. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2020-0239>.
24. MacIntyre RC, Hasanain JS. Community universal face mask use during the COVID 19 pandemic-from households to travellers and public spaces. *J Travel Med*. 2020 [cited 2023 Dez 11]; 27(3):taa056. DOI: <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa056>.

25. Kneodler TS, Silva ES, Haberland DF, Silva TASM, Oliveira AB. Tecnologias sociais para ações de gestão de risco em desastres: uma revisão de escopo. *Saúde debate*. 2022 [cited 2023 Dez 11]; 46(spe8):187-200. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042022E814>.
26. Campos LF, Vecchia LPD, Tavares JP, Camatta MW, Magnago TSBS, Pai DD. Implicações da atuação da enfermagem no enfrentamento da COVID-19: exaustão emocional e estratégias utilizadas. *Esc Anna Nery*. 2023 [cited 2023 Dez 11];27:e20220302. DOI: <https://doi.org/10.1590/2177-9465-EAN-2022-0302pt>.

Contribuições dos autores

Concepção, L.R.R., A.J.R.R.S.C., A.W., S.K., M.R.B. e A.B.O.; metodologia, L.R.R. e A.B.O.; validação, L.R.R. e A.B.O.; análise formal, A.B.O.; investigação, L.R.R., A.J.R.R.S.C., A.W., S.K., M.R.B. e A.B.O.; obtenção de recursos, L.R.R.; curadoria de dados, L.R.R.; redação – original preparação de rascunhos, L.R.R.; redação – revisão e edição, L.R.R., A.J.R.R.S.C., A.W, S.K., M.R.B. e A.B.O.; visualização, A.B.O.; supervisão, A.B.O.; administração do projeto, L.R.R. Todos os autores realizaram a leitura e concordaram com a versão publicada do manuscrito.