



Reutilização das máscaras N95/PFF2 na prática clínica: análise morfológica e estrutural*


Viviane Lopes Vimieiro^{1,2}

 <https://orcid.org/0000-0001-6500-1344>

Claysson Bruno Santos Vimieiro^{3,4}

 <https://orcid.org/0000-0003-1916-0517>

Adriana Cristina de Oliveira¹

 <https://orcid.org/0000-0002-4821-6068>

Destaques: (1) Alterações morfológicas e estruturas das máscaras N95/PFF2 após reutilização. (2) Impacto na integridade e funcionalidade das máscaras N95/PFF2 após reutilização. (3) Implicações para a segurança dos profissionais de saúde. (4) Necessidade de reavaliação dos protocolos de reutilização. (5) Microscopia Eletrônica de Varredura como uma ferramenta valiosa.

Objetivo: analisar a integridade das máscaras N95/PFF2 em relação à morfologia das fibras, porosidade, fissuras e micro furos, bem como identificar danos visíveis em sua estrutura e componentes, após protocolos de reutilização de sete e quinze dias. **Método:** estudo transversal. Características estruturais e morfológicas de uma máscara N95/PFF2 nova foram analisadas em comparação com máscaras N95/PFF2 (n=10) utilizadas em protocolos de sete e quinze dias, por meio da inspeção visual e microscopia eletrônica de varredura. **Resultados:** na inspeção visual, seguindo o protocolo de sete dias, 40% e 60% das máscaras N95/PFF2 apresentaram, respectivamente, marcas de identificação pessoal e sujidades externas e internas. Além disso, 20% exibiram afrouxamento e/ou rompimento das tiras de fixação, enquanto 100% mostraram algum tipo de dano nos cliques nasais. No protocolo de quinze dias, todas as máscaras N95/PFF2 apresentavam sujidade, tiras de fixação frouxas e cliques nasais comprometidos; 80% possuíam dobras. A microscopia eletrônica revelou aumento dos poros e afrouxamento nas tramas a partir de sete dias, ampliando-se até quinze dias, com presença de micro furos e detritos. **Conclusão:** a reutilização das máscaras N95/PFF2 compromete a integridade estrutural e morfológica. É crucial realizar testes para mensurar o impacto dessa prática na segurança dos profissionais de saúde.

Descritores: Equipamento de Proteção Individual; Respiradores N95; Reutilização de Equipamento; Pessoal de Saúde; Saúde Ocupacional; Microscopia Eletrônica de Varredura.

* Apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), processo nº APQ-00415-22, Brasil e do Fundo de Incentivo à Pesquisa da PUC Minas (FIP-PUC-MINAS), processo nº FIP2023/28971, Brasil.

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Enfermagem, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Brasil.

³ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Como citar este artigo

Vimieiro VL, Vimieiro CBS, Oliveira AC. Reuse of N95/PFF2 masks in clinical practice: morphological and structural analysis. Rev. Latino-Am. Enfermagem. 2024;32:e4209 [cited ____/____/____]. Available from: _____.

URL

↑ ↑ ↑
ano mês dia

Introdução

A máscara N95/PFF2 é o principal Equipamento de Proteção Individual (EPI) utilizado na prevenção e controle de doenças respiratórias como tuberculose, sarampo, COVID-19 e influenza H5N1⁽¹⁾. A integridade estrutural das máscaras N95/PFF2 é essencial para garantir a adaptação facial e uma eficiência mínima de filtração de 95% de partículas transportadas pelo ar de até 0,3 microns (μm), a fim de assegurar a segurança dos profissionais de saúde⁽²⁾.

A *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) estabelece que a máscara N95/PFF2 seja utilizada apenas uma vez e descartada imediatamente após o uso⁽³⁾. Contudo, a escassez do equipamento durante epidemias, como a influenza H1N1 em 2009, Síndrome Respiratória do Oriente Médio em 2012 e a pandemia de COVID-19, levou órgãos como o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e outras organizações de saúde a recomendarem a implementação de protocolos de reutilização limitada⁽⁴⁻⁶⁾. Esses protocolos incluem a utilização das máscaras N95/PFF2 em múltiplos atendimentos ou turnos de trabalhos, seguidos por sua remoção e armazenamento para uso subsequente⁽⁵⁾.

Apesar de serem justificáveis devido à escassez do dispositivo, tais recomendações podem comprometer a integridade estrutural das máscaras N95/PFF2, resultando em possíveis prejuízos à proteção respiratória oferecida aos usuários. De fato, estudos conduzidos entre profissionais que atuam em serviços de emergência mostraram que máscaras N95/PFF2 reutilizadas por mais de três turnos de oito horas apresentaram taxas consideravelmente altas de falha ($\geq 40\%$) nos testes de vedação, fenômeno possivelmente atribuído ao ajuste inadequado do EPI ao rosto⁽⁷⁻⁸⁾.

Riscos adicionais associados aos protocolos de reutilização englobam a necessidade inerente à prática clínica de que os profissionais de saúde façam pausas para tarefas como uso de banheiro, refeições e até descanso da face. Estas circunstâncias implicam em um maior número de paramentações e desparamentações, que podem conduzir à deterioração dos componentes das máscaras N95/PFF2, como o afrouxamento ou rompimento das tiras de fixação, quebras do clipe nasal, dobras, fissuras e rasgos⁽⁹⁻¹⁰⁾.

As máscaras N95/PFF2 são frequentemente constituídas por quatro camadas distintas: duas camadas intermediárias responsáveis pela filtração e sustentação, e camadas externas e internas que não filtram partículas⁽¹¹⁻¹²⁾. A eficácia de filtração de uma máscara N95/PFF2 está diretamente relacionada à preservação das características morfológicas das fibras em cada camada. No entanto, a degradação do material filtrante pode não

ser detectada pelos profissionais de saúde, resultando em potencial redução na proteção respiratória⁽¹¹⁾.

Estudos anteriores sobre o impacto da reutilização das máscaras N95/PFF2 basearam-se principalmente em testar a vedação e realizar a inspeção visual^(8-10,13-15). No entanto, esses métodos podem ser insuficientes quando se busca uma avaliação objetiva da eficácia das máscaras N95/PFF2. Além disso, a falta de diretrizes claras quanto ao tempo máximo de reuso deixa uma lacuna no conhecimento.

Para abordar essa lacuna, este estudo adota uma estratégia abrangente que combina a inspeção visual tradicional com técnica avançada, como a microscopia eletrônica de varredura (MEV). Essa abordagem permite uma análise mais detalhada e precisa, capaz de identificar danos morfológicos microscópicos que podem não ser visualizados a olho nu⁽¹⁶⁻¹⁷⁾.

Devido à escassez de evidências sobre o tempo seguro de reutilização das máscaras N95/PFF2, que assegure a preservação da integridade estrutural, este estudo tem como objetivo analisar a integridade das máscaras N95/PFF2 em relação à morfologia das fibras, porosidade, fissuras e micro furos, bem como identificar danos visíveis em sua estrutura e componentes, após protocolos de reutilização de sete e quinze dias.

Método

Tipo e local de estudo

Estudo transversal. O local do estudo foram duas Unidades de Terapia Intensiva (UTI) localizadas em dois hospitais públicos em Belo Horizonte, MG, Brasil, com capacidade de 10 e 54 leitos, respectivamente. A escolha dessas instituições baseou-se na diferença dos protocolos de reutilização das máscaras N95/PFF2 adotados, sendo de sete dias para a primeira e quinze dias para a segunda. Cada unidade tinha locais exclusivos, arejados e ventilados, destinados ao armazenamento seguro desses dispositivos. Os protocolos de reutilização foram elaborados pelo Setor de Segurança do Trabalho (SST) e pela Comissão de Controle de Infecção Hospitalar (CCIH) de cada hospital, incluindo orientações detalhadas para os profissionais de saúde sobre o correto acondicionamento, ressaltando a importância da utilização de papel apropriado e da identificação clara de cada máscara N95/PFF2 com nome do usuário e tempo de uso.

População

A população elegível consistiu nos profissionais de enfermagem atuantes em assistência direta nas unidades selecionadas.

Critérios de seleção

Foram incluídas as máscaras N95/PFF2 utilizadas por profissionais de enfermagem durante o turno diurno, em conformidade com os protocolos de reutilização (sete e quinze dias). A escolha desse turno deveu-se ao maior número de procedimentos realizados nesse período. Foram excluídas as máscaras N95/PFF2 utilizadas por profissionais que não seguiram os intervalos de tempo determinados pelos protocolos de reutilização.

Definição da amostra

A amostra de conveniência foi subdividida em dois grupos de comparação: um grupo com cinco máscaras N95/PFF2 utilizadas por sete dias e outro com cinco utilizadas por quinze dias, ambos seguindo o protocolo de reutilização estabelecido. É importante destacar que todas as máscaras N95/PFF2 eram da mesma marca e modelo, com tamanho único padrão. Este modelo em particular é caracterizado por suas duas tiras de fixação de material elástico, clipe nasal metálico sem revestimento para ajuste personalizado e pelo *design* dobrável. Além disso, todos os dispositivos possuíam Certificado de Aprovação (CA) emitido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) do Brasil, garantindo que atendem aos rigorosos padrões de segurança e qualidade exigidos pela legislação brasileira.

Variáveis do estudo

As variáveis do estudo foram analisadas utilizando dois instrumentos de coleta de dados, ambos desenvolvidos pelos pesquisadores e baseados nas normativas da *Occupational Safety and Health Administration* dos Estados Unidos da América (EUA) e do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil sobre o uso seguro da máscara N95/PFF2. O primeiro instrumento avaliou a integridade estrutural das máscaras N95/PFF2, considerando o tempo de uso (sete ou quinze dias), a categoria profissional (enfermeiros ou técnicos de enfermagem), e a presença de marcas de identificação pessoal, dobras, furos ou rasgos na superfície, manchas e sujeiras nas partes externa e interna (com respostas de sim ou não para cada item). Caso afirmativo, os tipos de manchas ou sujeiras eram especificados, incluindo vestígios de maquiagem, manchas amareladas ou enegrecidas, café, rabiscos de caneta, entre outros. Para quantificar a extensão da sujidade ou manchas, adotou-se uma estimativa em múltiplos de 25% da área comprometida da máscara N95/PFF2. Essa abordagem incluiu uma avaliação visual, seguida pela classificação das áreas afetadas em categorias conforme sua extensão. Adicionalmente, avaliou-se o estado de conservação das

tiras de fixação (íntegras ou esticadas) e do clipe nasal (íntegro, amassado ou com memória de dobras, quebrado, com ranhuras ou outras condições especificadas).

O segundo instrumento focou nas características morfológicas das fibras das diferentes camadas das máscaras N95/PFF2, incluindo o tempo de uso (sete ou quinze dias), a categoria profissional (enfermeiros ou técnicos de enfermagem), as camadas específicas (camada externa, estrutural, filtrante e interna), as características das fibras (bem preservada, irregular ou altamente irregular), a presença de imperfeições (micro furos, fissuras ou ambos) e detritos. A região escolhida para coleta da amostra foi a área próxima à parte nasal, no lado direito da máscara N95/PFF2, selecionada devido ao maior grau de umidade causado pela respiração do usuário.

Período, instrumentos utilizados para a coleta das informações e coleta de dados

A coleta de dados foi realizada entre os meses de fevereiro e abril de 2023. Diariamente, no final de cada turno diurno, máscaras N95/PFF2 eram recolhidas conforme um cronograma previamente estabelecido em conjunto com os serviços de saúde. Estas amostras eram acondicionadas em envelopes pardos, etiquetados com informações sobre o local e a data da coleta, marca do dispositivo, período de uso e a categoria profissional do usuário. Posteriormente, eram armazenadas em caixas rígidas que haviam sido higienizadas com água e sabão, em um ambiente arejado. Durante o processo, medidas de segurança foram rigorosamente adotadas, incluindo o uso de avental, luvas de procedimento e máscaras cirúrgicas.

A pesquisadora era responsável pelo transporte das máscaras N95/PFF2, já acondicionadas nas caixas, das unidades de terapias intensiva para o Núcleo de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gérias (PUC Minas), em Belo Horizonte, Brasil. No Núcleo, realizava-se a análise da integridade estrutural por meio da inspeção visual à luz natural. Utilizava-se uma lente ótica com ampliação de dez vezes (Tomshin S.A., São Paulo, SP, Brasil) sobre uma bancada desinfetada com álcool 70% para detectar a presença de marcas de identificação, dobras, furos ou rasgos, manchas e sujidade, além de avaliar o estado de conservação dos componentes da máscara N95/PFF2. As marcas de identificação indicam marcações feitas pelo próprio usuário, geralmente com caneta esferográfica, para distinguir seu dispositivo e controlar o tempo de uso. Os resultados foram registrados em formulários individuais para cada amostra.

Após a coleta e inspeção visual, todas as máscaras N95/PFF2 foram encaminhadas ao Laboratório de Microscopia Avançada da PUC Minas. Neste local, utilizou-se

um microscópio eletrônico de varredura (JSM-6610LV, Jeol, Tokio, Japão) para analisar a morfologia das fibras nas diferentes camadas do dispositivo. A manipulação era realizada com luvas e avental não estéreis em uma bancada. Para análise, as amostras foram seccionadas próximo à região do nariz, no lado direito, utilizando uma tesoura previamente desinfetada com álcool 70%. As seções apresentavam dimensões aproximadas de 1,0 por 1,0 cm. Em seguida, as camadas foram separadas e fixadas diretamente em "stub" de alumínio com fita adesiva de carbono dupla face. Para tornar as superfícies condutoras para a visualização no MEV, uma película de ouro com espessura de quinze nanômetros foi depositada nas amostras utilizando um sistema de revestimento à vácuo de alta pressão (Denton Vacuum Desk S.A, New Jersey, EUA). As micrografias foram obtidas numa ampliação de 100, 500 e 1000 vezes. Cabe ressaltar que, logo após a chegada ao Núcleo de Engenharia e ao Laboratório de Microscopia, as máscaras N95/PFF2 foram imediatamente submetidas aos testes. Esse procedimento foi adotado para prevenir a influência de quaisquer variáveis ambientais decorrentes de armazenamento em locais inadequados sobre os resultados.

Tratamento e análise dos dados

Utilização do programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 28.0, para análises descritivas e apresentação dos dados em tabelas de distribuição de frequência absoluta e relativa.

Aspectos éticos

O estudo seguiu os princípios éticos da Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, referente à pesquisa envolvendo seres humanos, recebendo aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Brasil, sob o parecer número: 5.824.571 - Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE): 65232922.8.0000.5149. Profissionais de enfermagem foram convidados a participar de maneira voluntária, e lhes foram fornecidas todas as informações pertinentes, assegurando a assinatura individual do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Com intuito de preservar o anonimato, o processo de coleta de dados foi elaborado de forma a excluir qualquer dado que pudesse identificar os indivíduos participantes.

Resultados

A integridade das máscaras N95/PFF2 em relação ao protocolo de reutilização (sete e quinze dias) foi avaliada por meio da inspeção visual com auxílio da lente ótica com ampliação de dez vezes da marca Tomshin® (Figura1).

Quanto à estrutura das máscaras N95/PFF2, observou-se a presença de marcas de identificação em 40% (2/5) dos dispositivos que foram reutilizados por sete dias. Essas marcas realizadas pelos técnicos de enfermagem consistiam na escrita das iniciais de seus nomes e da data de recebimento, usando canetas esferográficas na parte externa das máscaras N95/PFF2. O propósito dessas marcações era identificar e controlar o tempo de uso de cada equipamento.

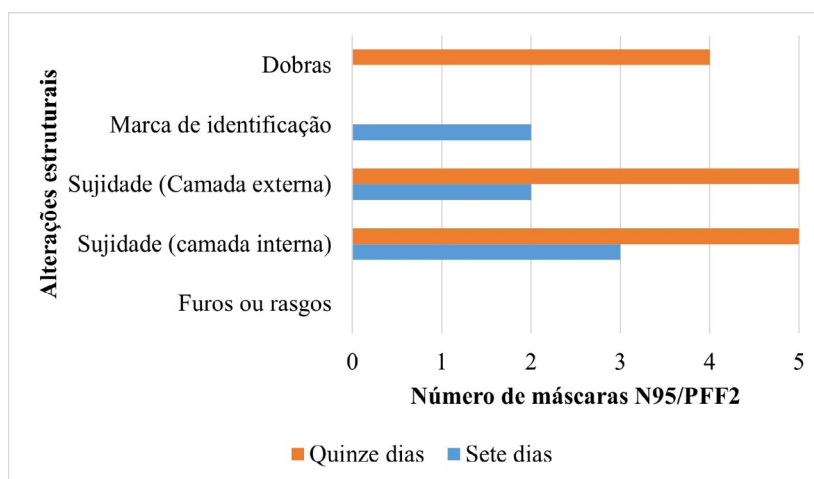


Figura 1 - Alterações estruturais em máscaras N95/PFF2 após uso em protocolos de sete (n = 5) e quinze dias (n = 5), em plantão de 12 horas. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

No que diz respeito à sujidade, após sete dias de uso, 40% (2/5) das máscaras N95/PFF2 apresentavam manchas amareladas ou enegrecidas de origem indeterminada em pelo menos 25% da sua superfície na

camada externa, enquanto 60% (3/5) tinham sujidade na camada interna. Para as amostras utilizadas por quinze dias, todas apresentavam sujidade em ambas as camadas, sendo que na face externa as manchas ocupavam uma

área menor que 25%, e na camada interna, a maioria 60% (3/5) exibia vestígios de maquiagem em uma área maior que 75%.

Em relação aos componentes das máscaras N95/PFF2 reutilizadas por sete dias, 20% (1/5) das tiras de fixação apresentavam afrouxamento, 20% (1/5) se romperam e 100% (n=5) dos cliques nasais tinham algum tipo dano, sendo que 20% (1/5) estavam amassados ou com memória de dobras, 20% (1/5) além desse dano também apresentaram ranhuras, e 60% (3/5) tinham apenas ranhuras. Em todas as máscaras N95/PFF2 reutilizados por quinze dias, houve afrouxamento das tiras de fixação e comprometimento do clipe nasal, com amassados ou memória de dobras e ranhuras. Além disso, em 40% (2/5) das amostras do protocolo de quinze dias, foi observado desfolhamento entre as camadas na parte interna e presença de curativos de espuma inseridos pelos profissionais de saúde para proteção nasal.

Todas as máscaras N95/PFF2 foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura para analisar as alterações morfológicas nas fibras de cada camada, após serem utilizadas nos protocolos de reutilização. Esta análise mostrou que todas as amostras apresentaram modificações morfológicas similares. Diante desta consistência nos achados, foi selecionada uma máscara N95/PFF2 representativa de cada protocolo para ilustração nas figuras do estudo. Em comparação, a máscara N95/PFF2 de controle (não utilizada) exibiu nas micrografias mostraram uma superfície de contorno de fibra bem preservada, sem micro furos, fissuras ou detritos aderidos.

Ao examinar as camadas externas das amostras de sete dias, observou-se a presença de poros entre as tramas e detritos aderidos às fibras. Nas amostras de quinze dias, foram observados micro furos, fios de fibras soltos, além de detritos aderidos às fibras e poros entre as tramas (Figura 2).

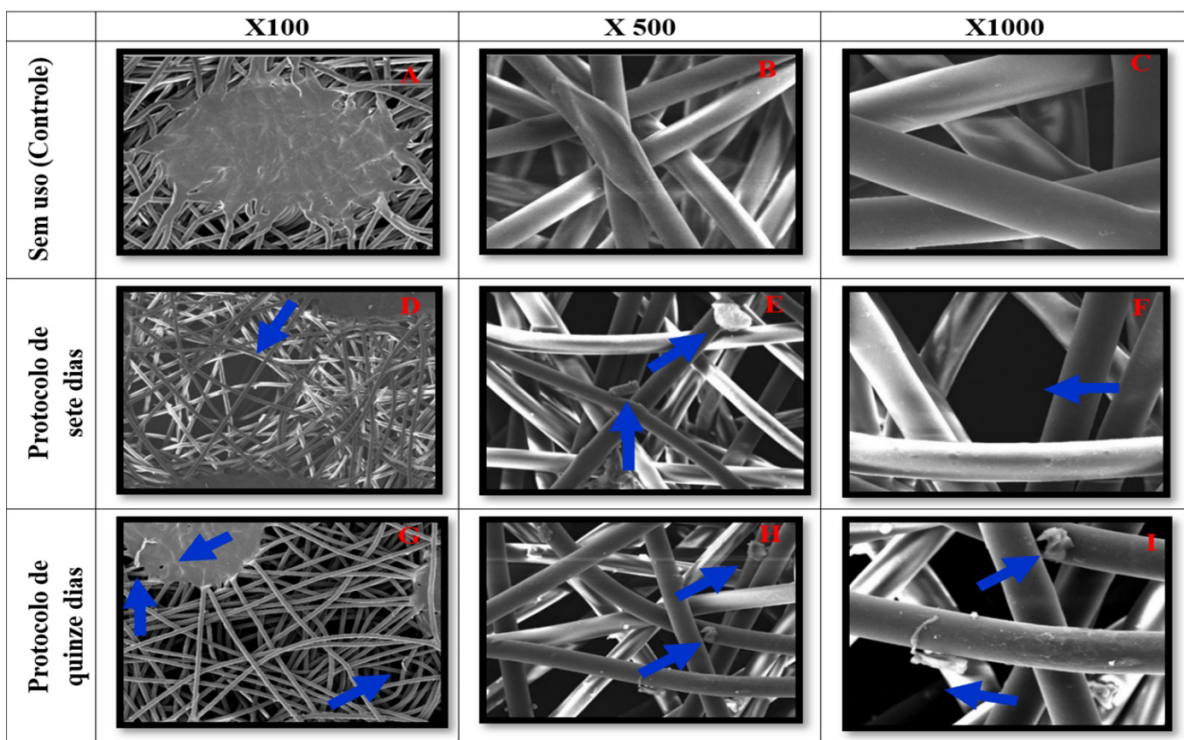


Figura 2 - Microscopia eletrônica de varredura da camada externa da máscara N95/PFF2 controle e das amostras nos protocolos de reuso (sete e quinze dias) durante plantões de 12 horas, com ampliação de 100x, 500x e 1000x. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

As imagens microscópicas 2(A-C) da camada externa da máscara N95/PFF2 de controle, revelaram fibras bem preservadas. Nas imagens 2(D-F), referentes às amostras de sete dias, observa-se a presença de poros entre as tramas em 2(D) e 2(F) e detritos em 2(E). As imagens 2(G-I), correspondentes às amostras de quinze dias, foram identificados micro furos e fibras soltas em 2(G), detritos em 2(H) e 2(I), e poros entre as tramas em 2(I).

Na análise das camadas estruturais das máscaras N95/PFF2 após os protocolos de reutilização de sete dias, foram observadas tramas "emaranhadas", rompimento das fibras e detritos aderidos às mesmas. Nas amostras reutilizadas por quinze dias, além das tramas "emaranhadas" e detritos aderidos, também foram identificados desgastes nas fibras (Figura 3).

As imagens microscópicas 3(A-C) da máscara N95/PFF2 de controle mostraram fibras bem preservadas.

A imagem 3(D) das amostras de sete dias revelou tramas "emaranhadas", a imagem 3(E) evidenciou rompimento das fibras e detritos, enquanto a imagem 3(F) mostrou apenas detritos. As imagens 3(G-I) das amostras de quinze dias revelaram tramas "emaranhadas" em 3(G), detritos em 3(H) e detritos com desgaste das fibras em 3(I).

Em relação às camadas filtrantes das máscaras N95/PFF2 submetidas ao protocolo de reutilização de sete e quinze dias, foi observado a presença de tramas "emaranhadas" e rompimento das fibras. Nas amostras de quinze dias, além de tramas "emaranhadas", houve a contestação de poros maiores entre as tramas (Figura 4).

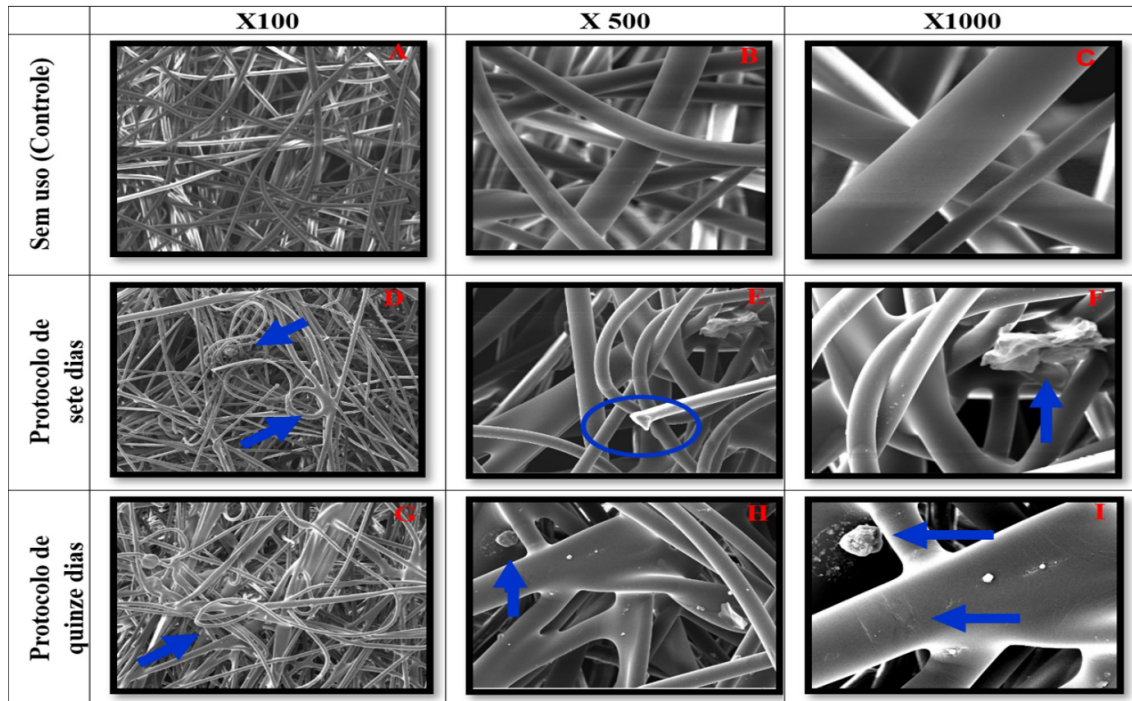


Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura da camada estrutural da máscara N95/PFF2 controle e das amostras nos protocolos de reuso (sete e quinze dias) durante plantões de 12 horas, com ampliação de 100x, 500x e 1000x. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

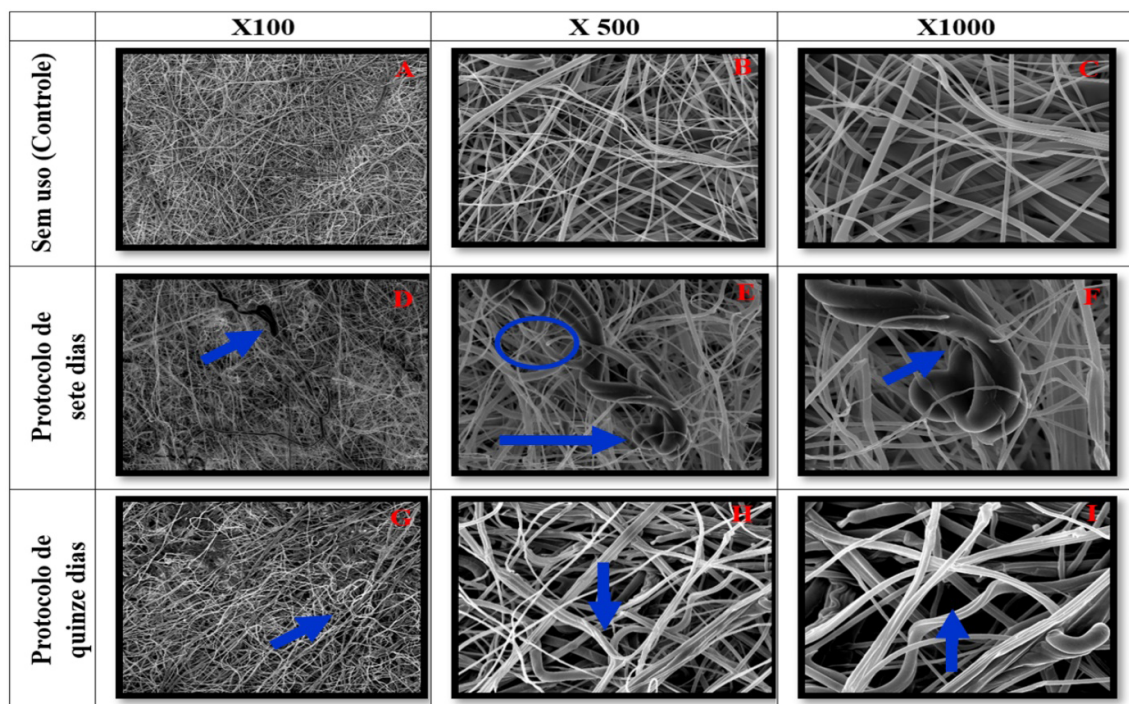


Figura 4 - Microscopia eletrônica de varredura da camada filtrante da máscara N95/PFF2 controle e das amostras nos protocolos de reuso (sete e quinze dias) durante plantões de 12 horas, com ampliação de 100x, 500x e 1000x. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

As imagens 4(A-C) da máscara N95/PFF2 de controle mostraram fibras bem preservadas. As imagens 4(D-F) das amostras de sete dias revelaram tramas "emaranhadas". As imagens 4(G-H) das amostras de quinze dias também revelaram tramas "emaranhadas", enquanto a imagem 4(I) revelou poros entre as tramas.

Ao analisar as camadas internas das máscaras N95/PFF2 utilizadas nos protocolos de sete dias, foram identificados micro furos, detritos aderidos às fibras e poros entre as tramas. Nas amostras reutilizadas nos protocolos de quinze dias, revelou além desses danos, a presença de fios de fibras soltos (Figura 5).

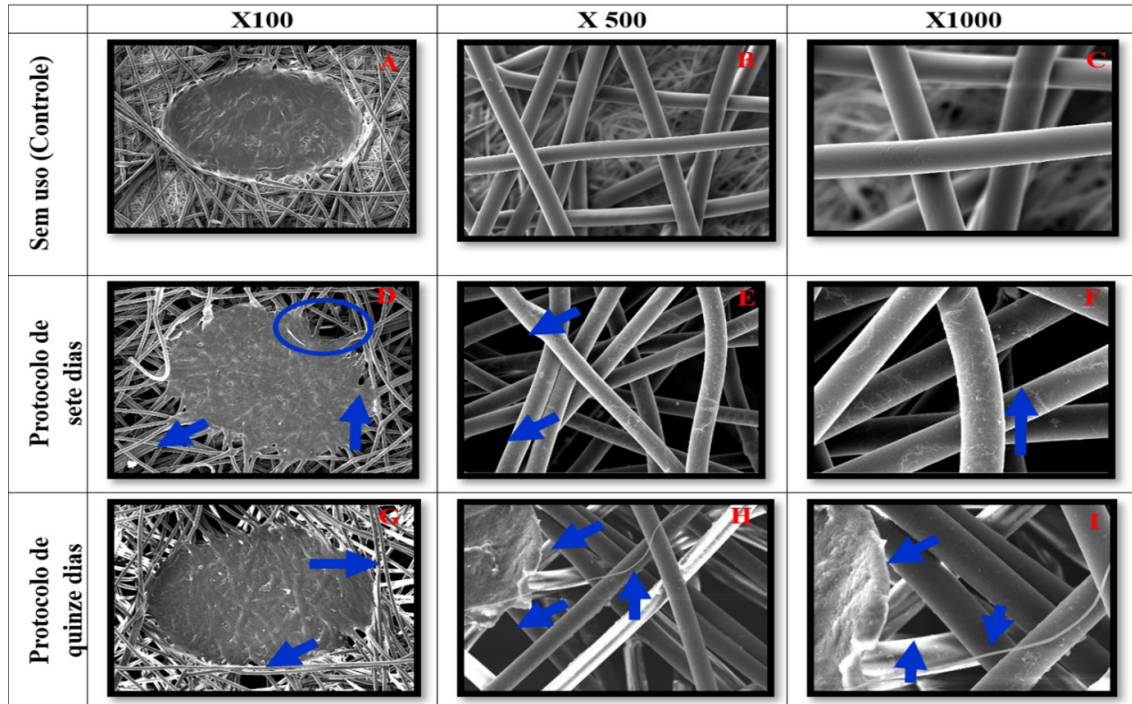


Figura 5 - Microscopia eletrônica de varredura da camada interna da máscara N95/PFF2 controle e das amostras nos protocolos de reuso (sete e quinze dias) durante plantões de 12 horas, com ampliação de 100x, 500x e 1000x. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2023

As imagens 5(A-C) da máscara N95/PFF2 de controle mostraram fibras bem preservadas. A imagem 5(D) das amostras de sete dias revelou a presença de micro furos, detritos e poros entre as tramas, enquanto as imagens 5(E) e 5(F) revelaram poros entre as tramas. A imagem 5(G) das amostras de quinze dias também revelou poros entre as tramas, e as imagens 5(H) e 5(I) mostraram detritos e poros entre as tramas, bem como fios soltos de fibras.

Discussão

Na análise de máscaras N95/PFF2 submetidas a protocolos de reutilização por períodos de sete e quinze dias, verificou-se alterações substanciais atribuíveis a esta prática, afetando tanto a integridade estrutural quanto a morfologia das fibras. Este fato sugere um risco aumentado para a segurança dos profissionais de saúde, ressaltando a necessidade de uma abordagem cautelosa e criteriosa no reuso desses equipamentos de proteção.

Essas descobertas são de grande relevância, dado que a implementação desses protocolos de reutilização foi essencial para atender à elevada demanda mundial

durante a pandemia da COVID-19, bem como em epidemias anteriores, como a influenza H1N1 em 2009, Síndrome Respiratória do Oriente Médio em 2012⁽¹⁸⁻²¹⁾. Além disso, esta estratégia ainda é adotada como uma política de redução de custos financeiros em diversas instituições hospitalares ao redor do mundo, especialmente em países que enfrentam impactos desproporcionais da COVID-19, como Brasil, Índia e China, com altos números de casos e mortalidade, além de uma alta incidência de outras doenças respiratórias, como tuberculose⁽²²⁻²⁴⁾.

Ao avaliar a integridade das máscaras N95/PFF2 reutilizadas por sete e quinze dias, identificaram-se diversos sinais de desgaste nas tiras de fixação e degradações nos cliques nasais por meio da inspeção visual. Esses danos corroboram com as descobertas de estudos realizados tanto em ambientes clínicos quanto em laboratoriais, evidenciando a fragilidade desses equipamentos sob condições de reuso^(9,25). Uma pesquisa clínica realizada em um hospital terciário na Índia, durante a pandemia da COVID-19, indicou que 9% dos profissionais de saúde relataram o afrouxamento das tiras de fixação, geralmente após cinco reuso em turnos de oito horas, como uma

das principais justificativas para o descarte precoce das máscaras N95/PFF2⁽²⁵⁾. Em um contexto laboratorial, simulando um turno de dez horas, constatou-se que a ruptura de cinco cliques nasais e de oito itens de fixação, ocorridas ao longo de 20 episódios de paramentação e desparamentação, resultou na falha nos testes de vedação por todos os participantes que utilizavam tais dispositivos⁽⁹⁾.

A degradação dos componentes das máscaras N95/PFF2 pode ser exacerbada pela intensa rotina dos profissionais de saúde, que frequentemente necessitam paramentar-se e desparamentar-se várias vezes durante a jornada de trabalho, especialmente para intervalos essenciais como hidratação, alimentação e, até mesmo, descanso da face^(9,15). As pesquisas realizadas em serviços de saúde mostram uma variação na frequência de paramentações, variando de até cinco ocorrências em turnos de dez horas e uma média de quarenta em jornadas de doze horas⁽²⁶⁻²⁷⁾. Portanto, é vital que os usuários realizem inspeções visuais rigorosas e verifiquem a vedação das máscaras N95/PFF2 imediatamente antes de cada uso para assegurar a manutenção da integridade desses dispositivos e, conseqüentemente, garantir proteção eficaz contra agentes infecciosos transmitidos pelo ar^(4-5,28). Entretanto, um estudo recente revelou que 57% dos enfermeiros não efetuam essas verificações, destacando a urgente necessidade de treinamentos frequentes e maior conscientização sobre a essencialidade desses procedimentos para o uso correto e seguro do equipamento de proteção individual^(4,29).

Outro ponto crítico identificado no presente estudo foi a incidência alarmante de sujidade nas máscaras N95/PFF2, uma realidade que contraria as diretrizes sanitárias, as quais recomendam a substituição imediata de dispositivos que estejam sujos, úmidos ou danificados^(2,4). Esta observação é corroborada por uma pesquisa realizada em ambiente hospitalar, onde a inspeção visual revelou a presença de manchas ou sujeira em todas as máscaras N95/PFF2 utilizadas por auxiliares de enfermagem após cinco de uso, sendo os resíduos de cosméticos os mais comuns⁽¹⁰⁾. Esses achados sublinham a necessidade crítica de aderir às práticas recomendadas pelos órgãos de saúde, tanto em termos de inspeção quanto a manutenção dos equipamentos livres de contaminação e sujeira, além de íntegros para garantir a proteção efetiva dos profissionais de saúde. Todavia, ressalta-se que o uso de maquiagem intensifica a deterioração das fibras, o que por sua vez, propicia a diminuição da sua eficácia⁽⁴⁻⁵⁾.

As instituições hospitalares participantes do estudo, em conformidade com as orientações estabelecidas pelos órgãos de saúde ANVISA e CDC, providenciaram locais próprios, limpos e arejados para o armazenamento das máscaras N95/PFF2^(2,4). Além disso, promoveram o uso de envelopes de papel, que facilitam a circulação de ar e

permitem a identificação pessoal, evitando as marcações diretas nos dispositivos. Essas práticas visam preservar a integridade estrutural do EPI e reduzir o risco de trocas inadvertidas entre os usuários. No entanto, após os protocolos de sete e quinze dias, observou-se dobras e marcas feitas por profissional com canetas esferográficas nas amostras, sugerindo um possível acondicionamento impróprio das máscaras N95/PFF2 em bolsos de vestimentas ou em itens pessoais, como bolsas. Essa condição também é constatada em outros estudos, chamando a atenção para a crucialidade de implementar ações de conscientização para desencorajar a guarda inadequada desses dispositivos^(25,27).

Outro aspecto que merece destaque no contexto do protocolo de reutilização das máscaras N95/PFF2 é a ocorrência de eventos adversos, incluindo lesões por pressão na ponte nasal devido ao atrito e cisalhamento causado pelo deslocamento do dispositivo⁽³⁰⁻³¹⁾. Na prática clínica, é comum que os profissionais de saúde utilizem adesivos de silicone ou espuma na parte interna das máscaras N95/PFF2 para proteger a pele contra danos e proporcionar conforto na região, principalmente no nariz, devido à estrutura metálica do clipe nasal⁽³²⁻³³⁾. Essas estratégias foram observadas em duas amostras reutilizadas em protocolos de quinze dias neste estudo. Contudo, esses curativos de espuma podem comprometer o ajuste desses dispositivos, em virtude da possibilidade de folga entre a pele e o equipamento de proteção respiratória⁽³²⁾.

As máscaras N95/PFF2, certificadas pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), são constituídas de microfibras sintéticas de polipropileno, distribuídas em quatro camadas distintas: externa, estrutural, filtrante e interna^(28,34). As camadas externa e interna são especificamente projetadas para proteção contra a umidade, com fibras de diâmetros entre 20 e 25 microns⁽³⁴⁾. Por outro lado, o meio filtrante é composto por fibras menores, de dois a cinco microns, tratadas eletrostaticamente para reter no mínimo 95% das partículas aéreas de até 0,3 µm⁽³⁴⁾.

A partir do sétimo dia de uso das máscaras N95/PFF2, as análises por microscopia eletrônica de varredura revelaram uma tendência ao aumento dos poros na maioria das camadas e a presença de tramas "emaranhadas" nas camadas estrutural e filtrante, possivelmente decorrentes do desprendimento das fibras, criando espaços maiores entre elas. Essas alterações se intensificaram no protocolo de quinze dias de uso, destacando a relação direta entre o tempo de reuso e a magnitude dos resultados observados.

No contexto da saúde ocupacional, essas mudanças morfológicas nas fibras dos dispositivos levantam preocupações, pois aumentam substancialmente a possibilidade de penetração de sangue, secreções respiratórias ou nasais e outros fluidos corporais através

das camadas das máscaras N95/PFF2. Esse cenário é especialmente crítico em ambientes como unidades de terapia intensiva, onde procedimentos que geram aerossóis são rotineiros e apresentam alto risco de transmissão de vírus respiratórios⁽³⁵⁻³⁶⁾.

Além disso, estudo adicional enfatiza que máscaras N95/PFF2 com poros menores, mais próximas às suas características originais, oferecem uma eficiência de filtração superior⁽³⁷⁾. Isso significa que maiores espaços entre as tramas favorecem a penetração de um maior número de partículas aerossolizada, ampliando a vulnerabilidade desses profissionais⁽³⁷⁻³⁸⁾.

Micrografias das máscaras N95/PFF2 também evidenciaram a presença de micro furos e o rompimento das fibras, possivelmente decorrentes do esgarçamento, o que leva à ampliação dos espaços de retenção de partículas e facilita acumulação de detritos entre às fibras. Elementos observados durante a inspeção visual, como sujidade, dobras e marcas de identificação pessoal nas amostras podem ter influenciado essas alterações morfológicas. Portanto, é crucial estabelecer protocolos adequados e limites de reuso desses dispositivos para assegurar a proteção necessária aos profissionais de saúde.

Este estudo, apesar de seus *insights* valiosos, apresenta algumas limitações que devem ser consideradas ao interpretar seus achados. Inicialmente, a utilização de uma amostra reduzida pode restringir a generalização das conclusões. Além disso, a análise focada exclusivamente em um tipo específico de máscara N95/PFF2, de uma determinada marca e modelo, possibilita restringir a aplicabilidade dos resultados a esse tipo em particular. Por último, a ausência de controle direto dos pesquisadores sobre o armazenamento das máscaras N95/PFF2, apesar dos protocolos e infraestrutura fornecidos pelas instituições, podem ter introduzido uma variável não monitorada, com potencial impacto nos resultados.

Apesar dessas limitações, o uso de técnicas de inspeção visual e a microscopia eletrônica de varredura possibilitaram identificar uma lacuna expressiva em relação ao impacto dos protocolos de reutilização das máscaras N95/PFF2, especialmente em relação à integridade e à funcionalidade das características inerentes a cada camada dos dispositivos após serem submetidos aos protocolos de reutilização por períodos de sete e quinze dias. Portanto, a reutilização desses equipamentos, apesar de ser uma recomendação emanada de órgão sanitários internacionais e nacionais, configura um risco tangível à segurança dos profissionais de saúde.

As implicações desse estudo para o avanço do conhecimento científico na área da saúde e enfermagem são notáveis. Ao identificar alterações na integridade estrutural e morfológica das máscaras N95/PFF2 após

a reutilização, destaca-se a importância de reavaliar os protocolos existentes e desenvolver diretrizes mais eficazes. Dessa forma, essa pesquisa incentiva a realização de testes adicionais para garantir a proteção adequada dos profissionais de saúde.

Conclusão

Protocolos de reutilização de sete e quinze dias influenciaram potencialmente a ocorrência de alterações morfológicas nas fibras das camadas das máscaras N95/PFF2, além da degradação tanto da integridade estrutural quanto dos componentes de fixação. Esses achados sugerem que a reutilização desses dispositivos respiratórios na prática clínica acarreta uma redução expressiva da eficácia do equipamento no que tange a integridade e funcionalidade das características de vedação e filtração, comprometendo, portanto, a segurança dos profissionais de saúde.

Referências

1. Siegel JD, Rhinehart E, Jackson M, Linda C. The Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. 2007 Guideline for isolation precautions: preventing transmission of infectious agents in healthcare settings: Update: Jul 2023 [Internet]. Atlanta: CDC; 2022 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/isolation-guidelines-H.pdf>
2. Centers for Disease Control and Prevention. NIOSH Science Blog. Proper N95 respirator use for respiratory protection preparedness [Internet]. Atlanta: CDC; 2020 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2020/03/16/n95-preparedness/>
3. Department of Labor (US), Occupational Safety and Health Administration. Standard Number 1910.134: Respiratory protection [Internet]. Atlanta: OSHA; 2021 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>
4. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BR). Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA Nº 04/2020: orientações para serviços de saúde: Medidas de prevenção e controle que devem ser adotadas durante a assistência aos casos suspeitos ou confirmados de COVID-19: atualizada em 09/08/2022 [Internet]. Brasília: Anvisa; 2022 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/notas-tecnicas/NT042020covid1908.09.2022paraportal3.pdf>
5. De Perio MA, Dowell CH, Delaney LJ, Radonovich LJ, Kuhar DT, Gupta N, et al. Strategies for Optimizing the Supply of N95 Filtering Facepiece Respirators During the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic. Disaster

- Med Public Health Prep. 2020;14(5):658-69. <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.160>
6. World Health Organization. Rational use of personal protective equipment (PPE) for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 19 March 2020 [Internet]. Geneva: WHO; 2020 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331498>
 7. Check R, Kelly B, McMahon K, Balakrishnan V, Rivard L, Pester J, et al. Failure Rates During Reuse of Disposable N95 Masks in Clinical Practice in the Emergency Department. *West J Emerg Med.* 2021;22(3):547-51. <https://doi.org/10.5811/westjem.2021.1.49960>
 8. Degesys NF, Wang RC, Kwan E, Fahimi J, Noble JA, Raven MC. Correlation Between N95 Extended Use and Reuse and Fit Failure in an Emergency Department. *JAMA.* 2020;324(1):94-6. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.9843>
 9. Bergman MS, Viscusi DJ, Zhuang Z, Palmiero AJ, Powell JB, Shaffer RE. Impact of multiple consecutive donnings on filtering facepiece respirator fit. *Am J Infect Control.* 2012;40(4):375-80. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.05.003>
 10. Duarte LRP, Miola CE, Cavalcante NJF, Bammann RH. Maintenance status of N95 respirator masks after use in a health care setting. *Rev Esc Enferm USP.* 2010;44(4):1011-6. <https://doi.org/10.1590/S0080-62342010000400022>
 11. Tcharkhtchi A, Abbasnezhad N, Zarbini Seydani M, Zirak N, Farzaneh S, Shirinbayan M. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. *Bioact Mater.* 2021;6(1):106-22. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.08.002>
 12. Zhou SS, Lukula S, Chirossone C, Nims RW, Suchmann DB, Ijaz MK. Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. *J Thorac Dis.* 2018;10(3):2059-69. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.03.103>
 13. Hwang SY, Yoon H, Yoon A, Kim T, Lee G, Jung KY, et al. N95 filtering facepiece respirators do not reliably afford respiratory protection during chest compression: A simulation study. *Am J Emerg Med.* 2020;38(1):12-7. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.03.041>
 14. Nakamoto K, Saraya T Sr, Kurai D, Fukukawa N, Taneoka T, Shimasaki T, et al. Reusing N95 respirators at weekly intervals during the COVID-19 pandemic. *Cureus.* 2021;13(2):e13542. <https://doi.org/10.7759/cureus.13542>
 15. Vuma CD, Manganyi J, Wilson K, Rees D. The Effect on Fit of Multiple Consecutive Donning and Doffing of N95 Filtering Facepiece Respirators. *Ann Work Expo Health.* 2019;63(8):930-6. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxz060>
 16. Illés B, Gordon P. Filtering efficiency measurement of respirators by laser-based particle counting method. *Measurement (Lond).* 2021;176:109173. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109173>
 17. Tongyam C, Potiwiput S, Tumkhanon K, Sitthiwani T, Chayanun S, Intra P, et al. Authenticity Screening for N95 Filtering Facepiece Respirator (FFR) by Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) in Comparison With Particulate Filtration Efficiency (PFE) Analysis. *Microsc Microanal Res [Internet].* 2020 [cited 2023 Sep 4];33(2):1-5. Available from: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/mmres/article/view/242567/164801>
 18. Cohen J, Rodgers YVM. Contributing factors to personal protective equipment shortages during the COVID-19 pandemic. *Prev Med.* 2020;141:106263. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2020.106263>
 19. Jain U. Risk of COVID-19 due to shortage of personal protective equipment. *Cureus.* 2020;12(6):e8837. <https://doi.org/10.7759/cureus.8837>
 20. Kobayashi LM, Marins BR, Costa PCDS, Perazzo H, Castro R. Extended use or reuse of N95 respirators during COVID-19 pandemic: An overview of national regulatory authority recommendations. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2020;41(11):1364-6. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.173>
 21. Noguee D, Tomassoni AJ. Covid-19 and the N95 respirator shortage: closing the gap. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2020;41(8):958. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.124>
 22. Chu J, Ghenand O, Collins J, Byrne J, Wentworth A, Chai PR, et al. Thinking green: modelling respirator reuse strategies to reduce cost and waste. *BMJ Open.* 2021;11(7):e048687. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-048687>
 23. World Health Organization. Global tuberculosis report 2022 [Internet]. Geneva: WHO; 2022 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2022>
 24. Ministério da Saúde (BR). Painel de casos de doença pelo coronavírus 2019 (COVID-19) no Brasil [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; 2023 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://covid.saude.gov.br/>
 25. Patel KP, Carval T. Challenges of limited reuse and extended use of N95 filtering facepiece respirators: Lesson learnt from COVID-19 pandemic in Mumbai, India. *Int J Occup Saf Health.* 2021;11(2):116-20. <https://doi.org/10.3126/ijosh.v11i2.37253>
 26. Zha M, Alsarraj J, Bunch B, Venzon D. Impact on the fitness of N95 masks with extended use/limited reuse and dry heat decontamination. *J Investig Med.* 2022;70(1):99-103. <https://doi.org/10.1136/jim-2021-001908>
 27. Fabre V, Cosgrove SE, Hsu YJ, Jones GF, Helsel T, Bukowski J, et al. Centers for Disease Control and Prevention Epicenters Program. N95 filtering face piece respirators remain effective after extensive reuse during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2021;42(7):896-9. <https://doi.org/10.1017/ice.2021.76>

28. Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Filtering out confusion: frequently asked questions about respiratory protection, respirator reuse and extended use: DHHS (NIOSH) Publication 2018-128 [Internet]. Atlanta: CDC; 2018 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2018-128/default.html>
29. Bien EA, Gillespie GL, Betcher CA, Thrasher TL, Mingerink DR. Respiratory Protection Toolkit: Providing Guidance Without Changing Requirements-Can We Make an Impact? *Workplace Health Saf.* 2016;64(12):596-602. <https://doi.org/10.1177/2165079916657831>
30. Jiang Q, Liu Y, Wei W, Zhu D, Chen A, Liu H, et al. The prevalence, characteristics, and related factors of pressure injury in medical staff wearing personal protective equipment against COVID-19 in China: A multicentre cross-sectional survey. *Int Wound J.* 2020;17(5):1300-9. <https://doi.org/10.1111/iwj.13391>
31. Silva LFMD, Almeida AGA, Pascoal LM, Santos M Neto, Lima FET, Santos FS. Skin injuries due to Personal Protective Equipment and preventive measures in the COVID-19 context: an integrative review. *Rev. Latino-Am. Enfermagem.* 2022;30:e3551. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.5636.3551>
32. Lansang P, Orrell KA, Tran J, Chen T. Skin damage prevention strategies during COVID-19: assessing their effect on N95 mask seal integrity. *J Cutan Med Surg.* 2020;24(6):646-7. <https://doi.org/10.1177/1203475420943861>
33. Smart H, Opinion FB, Darwich I, Elnawasany MA, Kodange C. Preventing facial pressure injury for health care providers adhering to COVID-19 personal protective equipment requirements. *Adv Skin Wound Care.* 2020;33(8):418-27. <https://doi.org/10.1097/01.ASW.0000669920.94084.c1>
34. O'Dowd K, Nair KM, Forouzandeh P, Mathew S, Grant J, Moran R, et al. Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: a review of current materials, advances and future perspectives. *Materials (Basel).* 2020;13(15):3363. <https://doi.org/10.3390/ma13153363>
35. Chan VW, Ng HH, Rahman L, Tang A, Tang KP, Mok A, et al. Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 1 and Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 During Aerosol-Generating Procedures in Critical Care: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Crit Care Med.* 2021;49(7):1159-68. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000004965>
36. Nguyen LH, Drew DA, Graham MS, Joshi AD, Guo CG, Ma W, et al. Risk of COVID-19 among front-line health-care workers and the general community: a prospective cohort study. *Lancet Public Health.* 2020;5(9):e475-83. [https://doi.org/10.1016/s2468-2667\(20\)30164-x](https://doi.org/10.1016/s2468-2667(20)30164-x)
37. Liu Z, Yu D, Ge Y, Wang L, Zhang J, Li H, et al. Understanding the factors involved in determining the bioburdens of surgical masks. *Ann Transl Med.* 2019;7(23):754. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.11.91>
38. Hao W, Parasch A, Williams S, Li J, Ma H, Burken J, et al. Filtration performances of non-medical materials as candidates for manufacturing facemasks and respirators. *Int J Hyg Environ Health.* 2020;229:113582. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113582>

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Obtenção de dados:** Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Análise e interpretação dos dados:** Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Análise estatística:** Viviane Lopes Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Obtenção de financiamento:** Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Redação do manuscrito:** Viviane Lopes Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira. **Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante:** Viviane Lopes Vimieiro, Claysson Bruno Santos Vimieiro, Adriana Cristina de Oliveira.

Todos os autores aprovaram a versão final do texto.

Conflito de interesse: os autores declararam que não há conflito de interesse.

Recebido: 05.09.2023


Aceito: 25.02.2024

Editora Associada:
Maria Lúcia Zanetti

Autor correspondente:

Viviane Lopes Vimieiro

E-mail: vivianevimieiro@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6500-1344>

Copyright © 2024 Revista Latino-Americana de Enfermagem

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons CC BY.

Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original. É a licença mais flexível de todas as licenças disponíveis. É recomendada para maximizar a disseminação e uso dos materiais licenciados.