

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA  
AMAZÔNIA

**Descontaminação de máscaras N95 em hospital público de Belém/PA:  
apresentação e avaliação de protocolo simplificado.**

Simone Lopes de Mattos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias (PRODERNA /ITEC/ UFPA)

Belém/PA 2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

L864d Lopes de Mattos, Simone.  
Descontaminação de máscaras N95 em hospital público de Belém/PA : apresentação e avaliação de protocolo simplificado. / Simone Lopes de Mattos. — 2024.  
83 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais na Amazônia, Belém, 2024.

1. Máscara de proteção respiratória . 2. Descontaminação .  
3. Luz ultravioleta de ondas curtas. 4. Higiene ocupacional . 5.  
Biossegurança . I. Título.

CDD 613

---

**Descontaminação de máscaras N95 em hospital público de Belém/PA: apresentação e avaliação de protocolo simplificado.**

Simone Lopes de Mattos

Tese submetida ao corpo docente do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências em Engenharia de Recursos Naturais.

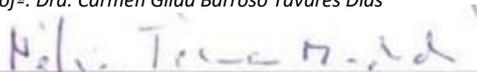
Belém, 25 de novembro de 2024.

PRESIDENTE:

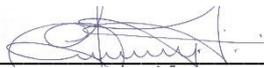


*Prof.ª. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias*

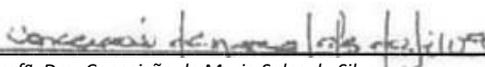
MEMBROS:



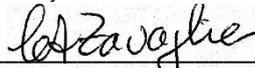
*Prof. Dr. Nélio Teixeira Machado*



*Prof. Dr. Eduardo de Magalhães Braga*



*Prof.ª. Dra. Conceição de Maria Sales da Silva*



*Prof.ª. Dra. Cecilia Amelia de Carvalho Zavaglia*



CANDIDATA:

*Simone Lopes de Mattos*

Belém/PA 2024

## AGRADECIMENTOS

A Deus, todos os dias da minha vida.

A minha família, que me anima a continuar, simplesmente por estar ao meu lado.

À professora orientadora Dr.a Carmen Gilda Barroso Tavares Dias, que acreditou num emaranhado de ideias e me ajudou a transformá-lo numa Tese de Doutorado. Serei sempre grata e devedora.

Ao PRODERNA, que acolheu profissionais da saúde em seu programa de Doutorado em Engenharia, reconhecendo que as ciências são inseparáveis.

Resumo da Proposta de tese apresentada ao PRODERNA/UFPA

***Descontaminação de máscaras N95 em hospital público de Belém/PA: apresentação e avaliação de protocolo simplificado.***

Simone Lopes de Mattos 11/2024

Orientadora: Dr.a. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias

Área de Concentração: Engenharias III

**RESUMO:**

A autora apresenta protocolo de descontaminação de máscaras de filtro N95 por meio da irradiação ultravioleta de ondas-curtas (UV-C), assim como, resultados da testagem microbiológica de validação do dispositivo UV-C e de pesquisa qualitativa sobre a adesão de profissionais do Hospital Universitário João de Barros Barreto, do Complexo Hospitalar Universitário da Universidade Federal do Pará (HUJBB), ao referido protocolo. Os testes microbiológicos demonstraram a eficácia do protocolo de descontaminação, pois não houve crescimento bacteriano em meios de cultura inoculados com esfregaços de máscaras usadas no hospital e descontaminadas no dispositivo UV-C, o que comprovou a eficiência germicida da irradiação UV-C. Os resultados da pesquisa qualitativa apontam para adesão dos profissionais da enfermagem à prática de descontaminação das máscaras, reconhecendo a praticidade e a contribuição do protocolo para a biossegurança e segurança ocupacional. Como parte do mesmo protocolo, é apresentada uma alternativa de embalagem para armazenamento das máscaras nos intervalos de uso das máscaras N95, considerando sua reutilização segura. O protocolo apresenta, ainda, como vantagens: o baixo custo e a praticidade de uso, além de contribuir para a redução do lixo infectante.

Descritores: Descontaminação. Raios Ultravioleta. Dosímetros de Radiação. Equipamento de Proteção Individual. Dispositivos de Proteção Respiratória. biossegurança.

Palavras-chave: N95, descontaminação, UV-C, segurança ocupacional

Simone Lopes de Mattos

Advisor: Carmen Gilda Barroso Tavares Dias

## ABSTRACT

The author presents a protocol for decontamination of N95 filter masks by means of short-wave ultraviolet irradiation (UV-C), as well as the results of the microbiological validation testing of the UV-C device and qualitative research on the adherence of professionals from the João de Barros Barreto University Hospital, of the University Hospital Complex of the Federal University of Pará (HUJBB) to the aforementioned protocol. The microbiological tests demonstrated the efficacy of the decontamination protocol, as there was no bacterial growth in culture media inoculated with swabs of masks used in the hospital and decontaminated in the UV-C device, which proved the germicidal efficiency of UV-C irradiation. The results of the qualitative research point to the adherence of nursing professionals to the practice of mask decontamination, recognizing the practicality and contribution of the protocol to biosafety and occupational safety. As part of the same protocol, an alternative packaging for storing masks in the intervals of use of N95 masks is presented, considering their safe reuse. The protocol also has the following advantages: low cost and practicality of use, in addition to contributing to the reduction of infectious waste.

Descriptors: Decontamination. Ultraviolet Rays. Radiation Dosimeters. Personal Protective Equipment. Respiratory Protection Devices. biosecurity.

Keywords: N95, decontamination, UV-C, occupational safety

## SUMÁRIO

	Página
Capítulo 1 - Introdução.....	14
1.1 Contexto geral.....	12
1.1.1 Cenário da pesquisa - Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUIBB).....	12
1.1.2 A proteção respiratória dos trabalhadores do HUIBB.....	12
1.1.3 Uso hospitalar das máscaras N95.....	13
1.1.4 Descontaminação das máscaras N95 por irradiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C).....	15
1.2 Motivação.....	17
1.3 Objetivo.....	17
1.3.1 Objetivo geral.....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
Capítulo 2 - Revisão da Literatura.....	17
2.1 Radiação Ultravioleta.....	17
2.1.1 Efeito antimicrobiano da Radiação Ultravioleta de ondas curtas (UV-C).....	18
2.1.2 Sensibilidade de microrganismos à luz ultravioleta de ondas curtas (UV-C)...	19
2.1.3 Precauções no uso da irradiação UV-C.....	20
2.2 Máscara de filtro N95.....	21
2.3 Reutilização de máscaras N95.....	24

2.4 Contaminação e sobrevivência microbiológica em N95.....	26
2.5 Descontaminação de máscaras de filtro N95.....	29
2.5.1 Descontaminação de N95 por UV-C ou UVGI.....	33
Capítulo 3 - Metodologia.....	37
3.1 Materiais.....	37
3.1.1 Máscaras N95.....	37
3.1.2 Radiômetro.....	37
3.1.3 Dosímetros colorimétricos.....	37
3.1.4 Cabine de descontaminação UV-C.....	37
3.1.5 Cabides artesanais para posicionamento das máscaras.....	38
3.1.6 Dispositivo simplificado para descontaminação UV-C.....	41
3.1.7 Dispositivo para descontaminação UV-C com sistema de rotação.....	42
3.2 Metodologia de pesquisa.....	46
3.2.1 Primeira etapa da pesquisa - medições UV-C.....	45
3.2.2 Segunda etapa da pesquisa - pesquisa qualitativa.....	46
3.2.3 Terceira etapa da pesquisa - testagem microbiológica.....	49
4 Capítulo 4 - Resultados.....	47
4.1 Protocolo proposto para utilização do dispositivo simplificado de descontaminação UV-C.....	52
4.2 Resultados da pesquisa qualitativa.....	52
4.3 Resultados da testagem microbiológica.....	56

5 Capítulo 5 - Discussão.....	53
6 Capítulo 6 - Conclusão.....	55
7 Capítulo 7 - Referências.....	56

## Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura em azul do complexo com ACE2 (mucosa nasal) acoplada ao Mycobacterium tuberculosis (Fonte:Autora, 2023).....	15
Figura 2 - Espectro eletromagnético da radiação [Fonte: www.uvdesinfectie.com].....	21
Figura 3 - Máscara N95/PFF2, modelo 8801 da 3M.(Fonte:Autora, 2023).....	26
Figura 4 - Camadas principais que compõem a concha da máscara N95, modelo 8801 da 3M (camada externa, camada filtrante, camada interna) (Fonte:Autora, 2022).....	27
Figura 5 - Camada filtrante do respirador N95, modelo 8801 da 3M, separada manualmente em subcamadas. (Fonte: Autora, 2022).....	28
Figura 6 - Microscopia óptica da camada externa da máscara N95, modelo 8801 3M (Fonte: Autora, 2022).....	28
Figura 7 - Microscopia óptica da camada filtrante do respirador N95, modelo 8801 3M (Fonte: Autora, 2022).....	29
Figura 8 - Microscopia eletrônica de varredura da camada filtrante do respirador N95, modelo 8801 3M Fonte: Autora, 2024.....	29
Figura 9 - Microscopia eletrônica de varredura da camada filtrante do respirador N95, modelo 8801 3M Fonte: Autora, 2024.....	30
Figura 10 - Máscara N95 acondicionado em embalagem disponível no mercado de recipientes plásticos, na qual foram criados poros para passagem do ar, e adaptado um cordão para pendurar e uma etiqueta de identificação do usuário (Fonte: Autora, 2022).....	32
Figura 11 - Cabine artesanal para descontaminação UV-C (Fonte: Autora, 2022).....	45

Figura 12 - Cabides artesanais para máscaras N95 (Fonte: Autora, 2022).....	46
Figura 13 - Itens idealizados para a cabine de descontaminação de máscaras por UV-C (Fonte: Autora, 2022).....	47
Figura 14 - Máscaras N95 posicionadas nos cabides artesanais. Lâmpada UV-C. Fase de confecção da cabine UV-C para descontaminação (Fonte: Autora, 2022).....	48
Figura 15 - Desenho do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 após montagem (Fonte: Autora, 2022).....	49
Figura 16 - Desenho do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95, simulando posicionamento da máscara N95 a ser descontaminada (Fonte: Autora, 2022).....	50
Figura 17 - Desenho do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95, simulando posicionamento da máscara N95 a ser descontaminada (Fonte: Autora, 2022).....	50
Figura 18 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).....	51
Figura 19 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).....	51
Figura 20 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).....	52
Figura 21 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).....	52
Figura 22 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).....	53
Figura 23 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).....	53

Figura 24 - Radiômetro com sonda UV-C, cartão dosímetro UV-C, dispositivo UV-C, máscara N95 (Fonte: Autora, 2023).....	54
Figura 25 - Dispositivo UV-C com sistema de rotação das máscaras N95 (Fonte: Autora, 2024).....	55
Figura 26 - Dispositivo UV-C com sistema de rotação das máscaras N95 (Fonte: Autora, 2024).....	56
Figura 27 – Máscara usada, recolhida de profissional da enfermagem do HUIBB (Fonte: Autora, 2024).....	58
Figura 28 - Capela de fluxo laminar montada pelas pesquisadoras, na qual se vê o dispositivo de descontaminação UV-C e a estufa bacteriológica (Fonte: Autora, 2024).....	59
Figura 29 - Descontaminação da capela de fluxo laminar com uso de lâmpada UV-C (Fonte: Autora, 2024).....	60
Figura 30 - Plaqueamento realizado através de quatro passagens firmes com swab seco na parte externa, interna e central da máscara sendo as fricções reforçadas duas vezes entre cada semeadura, inoculando o material microbiológico em Ágar Chocolate. (Fonte: Autora, 2024).....	61
Figura 31 - a) sonda UV-C de radiômetro eletrônico b) indicador colorimétrico (Fonte: Autora, 2022).....	65
Figura 32 - Indicador colorimétrico de dose UV-C mostrando mudança de coloração indicativa do alcance da dose ideal para inativação de <i>Staphylococcus aureus</i> resistente à meticilina (SARM), observada em cerca de 3 minutos de exposição. A dose para inativação de <i>Clostridium difficile</i> formador de esporos foi observada no intervalo de 4 minutos. (Fonte: Autora, 2022).....	66
Figura 33 - Instrução de uso afixada no dispositivo simplificado para descontaminação UV-C (Fonte: Autora, 2022).....	67

Figura 34 - Placas com meio de cultura Ágar chocolate após inoculando o material das máscaras N95 e mantidos em estufa a 40 graus centígrados.. A) grupo de máscaras usadas e não descontaminadas; B) grupo de máscaras usadas e descontaminadas por UV-C no dispositivo com sistema de rotação; C) grupo controle (máscaras novas em embalagem de fábrica). (Fonte: Autora, 2024).....

70

## LISTA DE TABELAS

Tabela I - Tempo de sobrevivência de microrganismos em máscaras de proteção respiratória (Fonte: Autora, 2022).....	16
Tabela II - Doses utilizadas em estudos de descontaminação de máscaras N95 (Fonte: Autora, 2022).....	19
Tabela III – medição da Dose UV-C, conforme o tempo de exposição, com a sonda do radiômetro posicionada a 5cm e paralelamente às lâmpadas, no interior da cuba do dispositivo simplificado de descontaminação.(Fonte, Autora, 2022).....	63

## LISTA DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico I - Tempo (em dias) de sobrevivência de microorganismos nas camadas filtrantes das máscaras. (Fonte: Autora, 2024).....	17
Gráfico II - Doses UV-C indicadas em estudos científicos para a descontaminação de máscaras N95 (Fonte: Autora, 2022).....	19
Gráfico III – medição da Dose UV-C, conforme o tempo de exposição, com a sonda do radiômetro posicionada a 5cm e paralelamente às lâmpadas, no interior da cuba do dispositivo simplificado de descontaminação.(Fonte, Autora, 2022).....	63
Gráfico IV – Atividade profissional do público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).....	72
Gráfico V – Gênero do público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).....	73
Gráfico VI – Turno de trabalho do público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).....	73
Gráfico VII – Formas de armazenamento das máscaras N95 (durante o turno de trabalho) pelo público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).....	74
Gráfico VIII – Formas de armazenamento das máscaras N95 (entre os turnos de trabalho) pelo público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).....	74
Gráfico IX – Razões para o descarte das máscaras N95 para o público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).....	75

Gráfico X – Impressão do público entrevistado pela pesquisadora no Hospital  
Universitário João de Barros Barreto sobre o protocolo de descontaminação das  
máscaras N95, apresentado pela pesquisadora..(Fonte, Autora, 2023)..... 75

## LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

SARS-CoV-2 - Síndrome Respiratória Aguda Grave do coronavírus 2 (do inglês *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*)

PPF2 - Peças semiFaciais Filtrantes 2

EPI - Equipamento de Proteção Individual

UV-C - ultravioleta de ondas curtas

CDC - Centro de Controle e Prevenção de Doenças ( do inglês *Centers for Disease Control and Prevention*)

UVGI - Irradiação germicida ultravioleta ( do inglês *ultraviolet germicidal irradiation*)

RUV - Radiação Ultravioleta

CIE - International Commission on Illumination

RNA - cido ribonucleico

DNA - cido desoxirribonucleico

MRSA - Staphylococcus aureus resistentes a meticilina

NIOSH - Instituto Nacional de Segurança e Saúde (do inglês *Nathional Institute for Occupational Safety*)

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho

FDA - Administração de Alimentos e Medicamentos

## **Capítulo 1 - Introdução**

### **1.1 Contexto geral**

#### **1.1.1 Cenário da pesquisa - o hospital universitário João de Barros Barreto**

O Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUIBB) começou a ser construído no ano de 1938 como Sanatório de Belém, posteriormente Sanatório Barros Barreto, para isolamento de pessoas em tratamento da tuberculose (TB). A doença, também conhecida como peste branca ou tísica, foi responsável por metade dos óbitos em todo o Brasil no final da década de 1920, principalmente devido à situação sanitária das cidades brasileiras e à carência de instituições de tratamento. Por ser contagiosa, o diagnóstico era muitas vezes escondido socialmente, a fim de evitar a estigmatização da família dos enfermos. Em 1976, a instituição deixou de ser sanatório, passando a ser chamado de Hospital e se tornou também um local provedor de desenvolvimento da ciência por meio das pesquisas em agentes etiológicos das enfermidades incidentes na região amazônica. O perfil do hospital foi adaptado, visando ao atendimento de outras patologias, como as doenças tropicais e infecciosas, também um flagelo na região. Com as reformas, ampliações e reordenamentos pelos quais o hospital passou ao longo de sua história, inclusive com a inauguração de uma unidade oncológica em seu terreno, ganhando assim mais uma "vocação", o HUIBB é hoje referência regional em Pneumologia, Infectologia e Endocrinologia e Diabetes, e Referência Nacional em AIDS; e, juntamente com o Hospital Bettina Ferro de Souza, compõe o Complexo Hospitalar Universitário da Universidade Federal do Pará. (Bertolli Filho, 2000<sup>1</sup>; Miranda et al., 2016<sup>2</sup>; Leal & Miranda, 2020<sup>3</sup>).

#### **1.1.2 A proteção respiratória dos trabalhadores no HUIBB**

Como hospital de referência secundária e terciária no tratamento da tuberculose multirresistente (TBMR), e, mais recentemente, com leitos disponibilizados para o tratamento da Covid-19, a atuação profissional nas unidades ambulatoriais e clínicas do HUIBB implica proteção respiratória com Equipamento de Proteção Individual (EPI) adequado.

As máscaras de proteção respiratória previnem a inalação de partículas infecciosas presentes no ambiente clínico.

Para proteção respiratória contra o *Mycobacterium tuberculosis*, bacilo que

apresenta tamanho estimado de 1 a 5 $\mu$ m e que, emitido pela tosse, pode permanecer suspenso no ar por longos períodos (Kim et al, 2018<sup>4</sup>; Diel et al., 2020<sup>5</sup>). Uma vez na mucosa nasal, o bacilo acopla-se à proteína da mucosa nasal humana. A Figura 1 foi obtida pela autora.

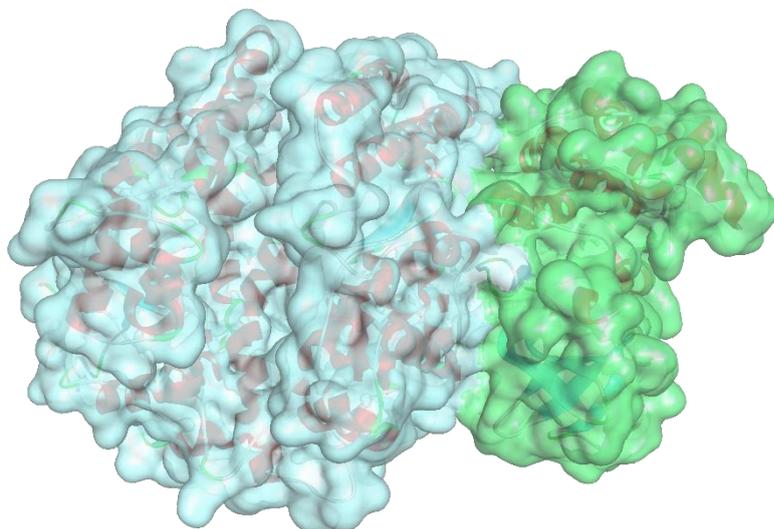


Figura 1: Estrutura em azul do complexo com ACE2 (mucosa nasal) acoplada ao *Mycobacterium tuberculosis* (Autora, 2023).

Para prevenção da infecção ocupacional pelo *Mycobacterium tuberculosis* ou por outros patógenos em suspensão, como o vírus SARS-CoV-2, são indicadas máscaras faciais capazes de filtrar 94 a 95% das partículas com diâmetro superior a 0,3  $\mu$ m, classificadas como PFF2 (Peça Facial Filtrante), pela norma brasileira (ABNT/NBR 13698:1996), ou N95, pela norma americana, onde a letra ene (N) significa que a máscara não é resistente a névoas oleosas. A FDA (Administração de Alimentos e Medicamentos) dos EUA classifica os respiradores N95 cirúrgicos aprovados pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde como equipamentos de uso único (NIOSH)<sup>6</sup>. No Brasil, a máscara N95 deve possuir Registro no Ministério da Saúde/ANVISA (RDC 185/2001) e, por ser um EPI (Equipamento de Proteção Individual), deve possuir também o Certificado de Aprovação (CA) emitido pelo Ministério do Trabalho e Emprego. (Vieira et al., 2016<sup>7</sup>; Lee et al., 2016<sup>8</sup>; CDC, 2007<sup>9</sup>; CDC, 2020<sup>10</sup>). Ao longo deste trabalho será usada a nomenclatura americana, ou seja, máscaras N95, uma vez que é o termo que se popularizou no Brasil.

### **1.1.3 Uso hospitalar das máscaras N95**

As máscaras N95, especialmente na saúde pública, por questões de economicidade, não são descartadas após uso único, são armazenadas para reutilização limitada pelo mesmo usuário em diferentes turnos de trabalho hospitalar. O reuso das máscaras N95 é aceitável, porém deve ser limitado conforme orientações do fabricante ou, na ausência dessas, a até cinco dias ou turnos de trabalho, usadas sempre pelo mesmo usuário e desde que se mantenha livre de contaminação por contato, de sujidade ou de danos físicos que comprometam o seu ajuste e função. Tais orientações estão compiladas em estudo realizado em hospital no Brasil, que acompanhou a reutilização de máscaras N95 por profissionais de saúde e concluiu que os hospitais devem limitá-la a até 05 (cinco) dias (Duarte et al, 2015)<sup>11</sup>.

Está comprovado que a reutilização limitada não resulta em redução da eficiência de filtração da máscara N95 (Fisher & Shaffer, 2014)<sup>12</sup>. A preocupação, entretanto, é com a segurança microbiológica, uma vez que há evidências da viabilidade infecciosa de vírus depositados na superfície da malha filtrante da máscara, o que pode contribuir para a transmissão de viroses por contato (Coulliette et al, 2013<sup>13</sup>; Casanova & Waka, 2013<sup>14</sup>; Nikiforuk et al., 2017<sup>15</sup>; Ahrenholz et al. 2018<sup>16</sup>; Rule et al., 2018<sup>17</sup>; Blachere et al, 2018<sup>18</sup>).

O Gráfico I apresenta, com base em revisão da literatura realizada pela autora, estudos da sobrevivência de microrganismos nas camadas filtrantes das máscaras. Nessa linha de pesquisa, o bacteriófago MS2 é comumente utilizado como um substituto de vírus, pois representaria o que é chamado de: “Pior cenário”, dada a sua resistência à desinfecção.

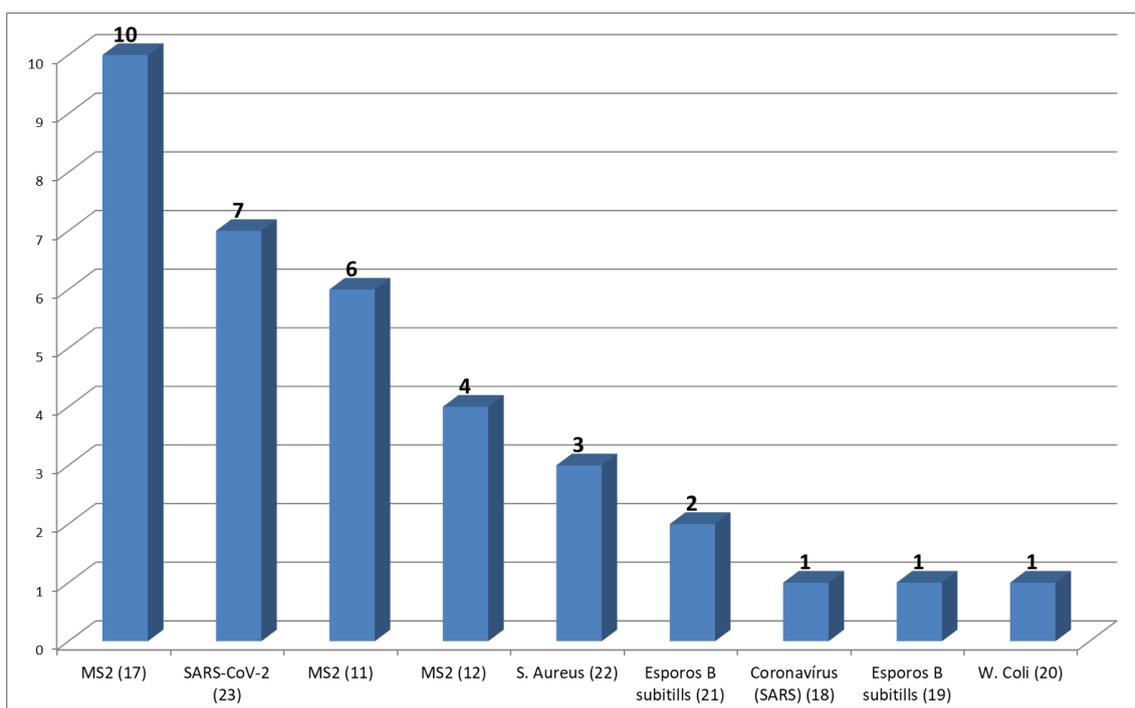


Gráfico I. Tempo (em dias) de sobrevivência de microorganismos nas camadas filtrantes das máscaras. (Autora, 2024).

Tabela I - Tempo de sobrevivência de microrganismos em máscaras de proteção respiratória.

Microrganismo estudado	Tempo de sobrevivência	Referência
MS2	10 dias	(Fisher & Shaffer, 2010) <sup>19</sup>
MS2	6 dias	(Coulliette et al., 2013) <sup>13</sup>
MS2	4 dias	(Casanova & Waka, 2013) <sup>14</sup>
Coronavírus (SARS)	1 dia	Casanova et al., 2010 <sup>20</sup>
esporos B subtilis	1 dia	(Lin et al., 2018) <sup>21</sup>
E. Coli	1 dia	(Lin et al, 2017) <sup>22</sup>
esporos B. subtilis	2 dias	(Majchrzycka et al., 2016) <sup>23</sup>

S. aureus	3 dias	(Majchrzycka et al., 2018) <sup>24</sup>
SARS-CoV-2	7 dias	(Chin et al., 2020) <sup>25</sup>

#### **1.1.4 Descontaminação das máscaras N95 por irradiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C)**

Com tais evidências, entram em pauta no meio científico estratégias para descontaminação das máscaras N95 (Fisher et al., 2011<sup>26</sup>; Heimbuch et al, 2014<sup>27</sup>; Lindsley et al, 2015<sup>28</sup>; Lin et al, 2017<sup>22</sup>; Mills et al, 2018<sup>29</sup>), com destaque para a luz ultravioleta de onda curtas (UV-C) ou Irradiação Germicida Ultravioleta (UVGI), cujo pico de comprimento de onda é de 254 nm; aceita como capaz de inativar, em ordem decrescente de susceptibilidade: bactérias, vírus, fungos e esporos, por meio de danos ao DNA e ao RNA e consequente bloqueio da transcrição e da replicação, o que afeta as funções microbianas, sem o risco do desenvolvimento de resistência e sem deixar resíduos químicos. (Petersson et al, 2014<sup>30</sup>; Corrêa et al, 2017<sup>31</sup>; Health Quality Ontario, 2018<sup>32</sup>; Guridi et al, 2019<sup>33</sup>).

A irradiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C) tem uma longa e positiva história em aplicações anti-sépticas na área da saúde. A desinfecção do ar por UV-C esteve focada principalmente na prevenção da transmissão da tuberculose (TB) em locais de alto risco, como hospitais. No entanto, seu efeito descontaminante foi testado e aprovado para outros patógenos (Santl-Temkiv et al, 2019)<sup>34</sup>

A literatura científica apresenta dados para o entendimento da dose segura e eficiente de UV-C para a descontaminação de máscaras N95. Tais estudos, apresentados no Gráfico II testaram diferentes dispositivos e analisaram a redução de diferentes patógenos em máscaras N95 após diferentes doses de irradiação UV-C.

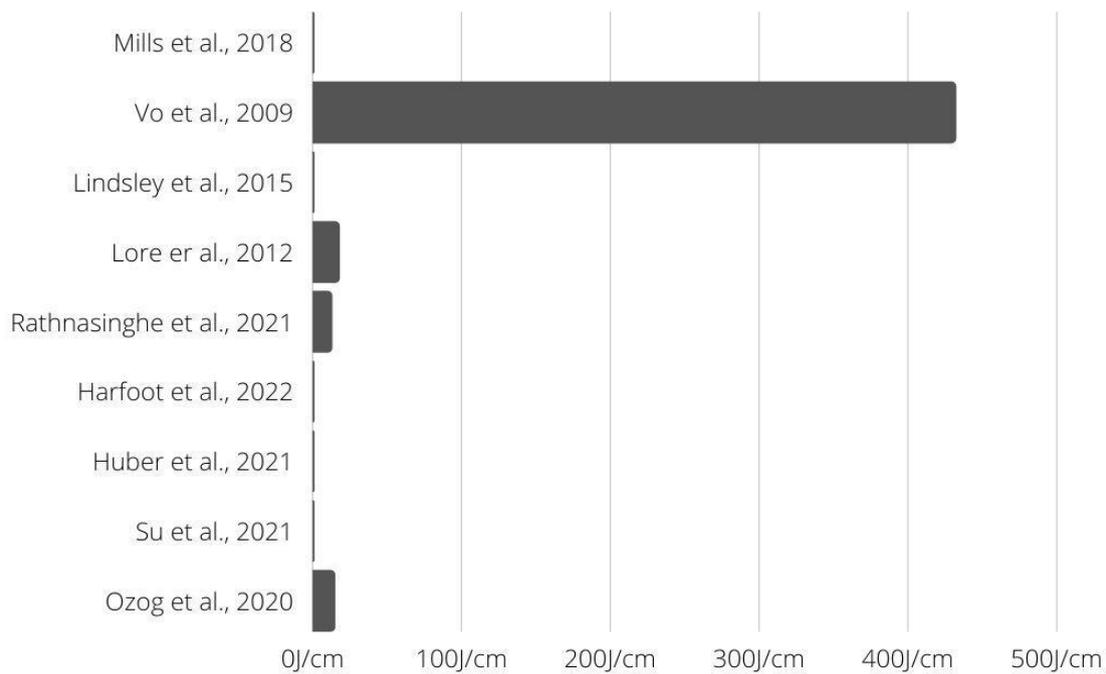


Gráfico II - Doses UV-C aplicadas em estudos científicos para a descontaminação de máscaras N95

Tabela II - Doses utilizadas em estudos de descontaminação de máscaras N95 (Fonte: Autora, 2022)

Mills et al., 2018 <sup>29</sup>	1J/cm <sup>2</sup>
Vo et al., 2009 <sup>35</sup>	4,32J/cm <sup>2</sup>
Lindsley et al., 2015 <sup>28</sup>	950mJ/cm <sup>2</sup>
Lore et al., 2012 <sup>36</sup>	1.8J/cm <sup>2</sup>
Rathnasinghe et al., 2021 <sup>37</sup>	1,3J/cm <sup>2</sup>
Harfoot et al., 2022 <sup>38</sup>	1J/cm <sup>2</sup>
Huber et al., 2021 <sup>39</sup>	1J/cm <sup>2</sup>

Su et al., 2021 <sup>40</sup>	1J/cm <sup>2</sup>
Ozog et al., 2020 <sup>41</sup>	1,5J/cm <sup>2</sup>

A dose UV-C de 1 J / cm<sup>2</sup>, em razão de estudos como o de Mills et al (2018)<sup>29</sup>, é aceita pelo Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) como a mínima necessária para descontaminação de máscaras N95.

O presente projeto de pesquisa apresenta a sequência de estudos até a apresentação e avaliação de um protocolo simplificado para para descontaminação de máscaras N95 por irradiação UV-C, para uso no ambiente hospitalar.

## **1.2 Motivação**

A reutilização das máscaras N95 nos hospitais é realidade rotineira. Dessa forma, as estratégias para descontaminação de máscaras são importantes para a elevação da biossegurança, pela redução do risco de transmissão de patógenos nosocomiais.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Apresentar dispositivos de descontaminação de máscaras N95 por irradiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C) e seus respectivos protocolos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Apresentar dispositivos e protocolos de descontaminação de máscaras N95 por UV-C.
- Avaliar protocolos de descontaminação de máscaras N95 por UV-C, com relação à dose de irradiação e a eficácia germicida.
- Comparar as doses alcançadas com aquelas descritas na literatura científica.
- Avaliar a eficiência germicida do dispositivo de descontaminação por meio de testes microbiológicos.
- Avaliar a impressão de profissionais de saúde sobre a utilização do dispositivo para descontaminação de máscaras N95.

## Capítulo 2 - Revisão de Literatura

### 2.1 Radiação Ultravioleta

A luz ultravioleta (UV) é uma forma de radiação eletromagnética com mais energia que a luz visível e menos energia que os raios X. No espectro eletromagnético, a Radiação Ultravioleta (RUV) compreende a faixa de comprimento de onda de 100 a 400 nm. A classificação da RUV em UVA, UVB e UVC foi feita por dermatologistas e introduzida na década de 1930 pela *International Commission on Illumination* (CIE), sendo adotada formalmente a partir de 1970. A UVA compreende a faixa de comprimento de onda de 315 nm a 400 nm, a UVB de 280 nm a 315 nm, e a UVC de 200 nm a 280 nm (Gruijl, 2000)<sup>42</sup>.

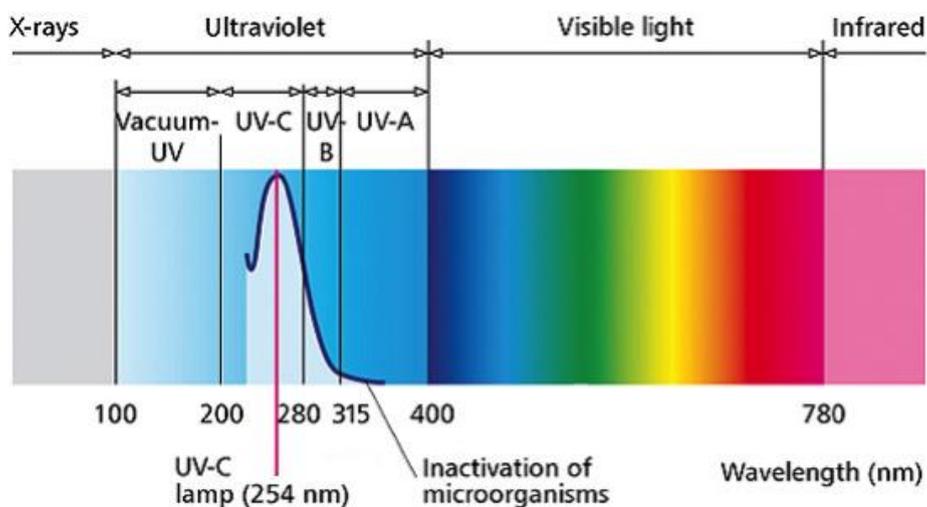


Figura 2 - Espectro eletromagnético da radiação [Fonte: [www.uvdesinfectie.com](http://www.uvdesinfectie.com)].

#### 2.1.1 Efeito antimicrobiano da UV-C

Embora todos os comprimentos de onda UV causem efeitos fotoquímicos às células, os comprimentos de onda na faixa ultravioleta de ondas curtas (UV-C), de 200 a 280nm, são particularmente prejudiciais, porque são absorvidos por proteínas, ácido ribonucleico (RNA), e o ácido desoxirribonucleico (DNA). Assim, o efeito antimicrobiano da UV-C se deve a sua capacidade de danificar o material genético dos microrganismos, fazendo com que as bases Timina adjacentes na mesma fita de DNA se liguem covalentemente, formando dímeros de Timina/Timina. Esse efeito promove o bloqueio da transcrição e da replicação, afetando as funções e causando a morte celular,

sem risco de desenvolvimento de resistência microbiana (Petersson et al., 2014<sup>30</sup>; Correa et al., 2017<sup>31</sup>; Health Quality Ontariol, 2018<sup>32</sup>; Guridi et al, 2019<sup>33</sup>, Kowalski, 2009<sup>43</sup>).

A descontaminação de objetos por UV-C é mais efetiva se o material-alvo estiver em linha reta e próximo à fonte de luz. Quanto maior a distância da fonte, maior será o tempo necessário para a descontaminação. Também é importante que não existam obstáculos entre o material-alvo e a fonte de luz. Qualquer obstáculo pode bloquear a luz UV-C, resultando em áreas de sombras. Por outro lado, em algum grau, a luz UV pode refletir e alcançar até a parte de trás de objetos, dependendo da constituição do material. Por exemplo, o material orgânico absorve a irradiação e evita a reflexão do bloco de luz. Por isso, é importante que superfícies a serem descontaminadas estejam, na medida do possível, livres de produtos orgânicos (Kowalski, 2009<sup>41</sup>).

No estudo de Lindblad et al. (2020)<sup>44</sup>, a dose de UV-C alcançada, usando um dispositivo emissor móvel em unidade hospitalar de tratamento intensivo (UTI), variou em relação à distância da luz e à presença de sombreamentos. Os autores observaram, nas leituras do radiômetro, doses significativamente mais baixas em áreas sombreadas e doses maiores em áreas em linha reta da luz. Essa observação é importante quando da eleição de um sistema de descontaminação por UV.

### **2.1.2 Sensibilidade de microrganismos à luz ultravioleta de ondas curtas (UV-C)**

A irradiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C) tem uma longa e positiva história em aplicações anti-sépticas na área da saúde. A desinfecção do ar por UV-C esteve focada principalmente na prevenção da transmissão da tuberculose (TB) em locais de alto risco, como hospitais. No entanto, seu efeito descontaminante foi testado e aprovado para outros patógenos.(Santl-Temkiv et al, 2019)<sup>34</sup>.Dispositivos UV-C de uso doméstico também estão no mercado para desinfecção de objetos caseiros como escovas de dentes, chaves, canetas, aparelhos celulares, entre outros. A dose UV-C necessária para a inativação de um microrganismo específico varia em função da irradiância empregada e do tempo de exposição. É definida, então, como o produto da intensidade ( $W / m^2$ ) e duração (s) da exposição. O aumento da irradiância proporciona maior dose de UV-C em menor intervalo de tempo. E, ainda, quanto maior a distância entre a fonte de irradiação e o material-alvo menor a dose de irradiação recebida. O ajuste da dose UV-C para inativação

de dado patógeno pode ser encontrada pela seguinte equação matemática (Fisher & Shaffer, 2010)<sup>19</sup>.

$$\text{VU dose } (\mu\text{J}/\text{cm}^2) = \text{Irradiância } (\text{mW}/\text{cm}^2) \times \text{Tempo(s)}$$

Walker & Ko (2007)<sup>45</sup> estudaram a inativação de aerossóis virais na dose de 2608  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  de UV-C. Esses autores demonstraram que a UV-C de 254 nm inativa aerossóis virais e pode ser uma medida eficaz de controle de engenharia para impedir a transmissão de doenças virais respiratórias. A alta suscetibilidade à UV-C dos aerossóis de coronavírus sugere que a desinfecção do ar por UV-C é ferramenta eficaz para prevenir doenças virais respiratórias importantes, como a SARS. Os resultados desse estudo também mostraram que a dose necessária para a inativação significativa de certos vírus, como o adenovírus, é maior do que a necessária para os aerossóis bacterianos.

A UV-C mostrou-se um método eficaz para a inativação de vírus depositados em superfícies no estudo de Tseng & Li (2007)<sup>46</sup>. Os pesquisadores utilizaram câmara de 0,02m<sup>3</sup> de volume, equipada com quatro lâmpadas de 8W de potência cada. Meios de cultura de bacteriófagos MS2 foram usados como alvo, posicionados a distância de 30,5cm da fonte de irradiação. Para a redução de 99% dos microrganismos, a dose UV-C variou de 2,51 a 16,20mJ/cm<sup>2</sup>, dependendo do material genético viral e da umidade relativa do ar.

Bedell et al (2016)<sup>47</sup> submeteram meios de cultura do coronavírus responsável pela síndrome respiratória do oriente médio (MERS-Cov) à irradiação proveniente de um sistema comercial automatizado emissor de UV-C para sala hospitalar. A exposição resultou em níveis indetectáveis do vírus após 5 (cinco) minutos de exposição, uma redução percentual superior a 99,999%.

Wallace et al (2019)<sup>48</sup> avaliaram a eficácia da luz UV-C para a inativação de MRSA (*Staphylococcus aureus* resistentes a meticilina), esporos de *C.difficile* e MS2, na presença ou ausência de matéria orgânica. Os resultados mostraram que a dose de 169,4 a 472,5 mJ/cm<sup>2</sup> foi eficiente contra tais microrganismos, mesmo na presença de matéria orgânica.

Eickmann et al (2020)<sup>49</sup> mostraram que sistemas de inativação de patógenos por UV-C, aplicados em componentes sanguíneos destinados às transfusões, são efetivos na inativação de vírus emergentes, entre eles o coronavírus da síndrome respiratória aguda grave (SARS-CoV-2), na dose de 0,2J/cm<sup>2</sup>.

Nos estudos de Kim & kang (2018)<sup>4</sup>, vírus, bactérias e fungos aerossolizados numa câmara de acrílico foram eficientemente inativados por UV-C gerada por diodos emissores de luz UVC (LED UV-C).

Lemons et al (2020)<sup>50</sup> avaliaram a ação da UV-C na inativação da *Candida auris*, patógeno fúngico, em razão de sua resistência a medicamentos e a alguns desinfetantes químicos. A dose UV-C necessária para a inativação de 99,99% das cepas de *C. auris* foi de 103 a 192mJ/cm<sup>2</sup>.

Petersson et al. (2014)<sup>30</sup> e Corrêa et al (2017)<sup>31</sup> apresentaram resultados germicidas significativos obtidos por equipamentos portáteis, de aplicação manual, idealizados para desinfecção de objetos e superfícies do ambiente hospitalar por lâmpada UV-C.

Ziegenfuss et al (2018)<sup>51</sup> avaliaram a descontaminação de óculos de segurança em gabinete de mesa emissor de luz UV-C; Guridi et al (2019)<sup>33</sup> e Marcos et al (2020)<sup>52</sup> testaram a eficácia de um gabinete portátil UV-C, no formato de caixa, para desinfecção de equipamentos da prática médica; Emig et al (2020)<sup>53</sup> testaram a eficácia de um dispositivo portátil, emissor de UV-C gerada por LEDs, idealizado para desinfecção de canetas compartilhadas em estabelecimentos de saúde. Esses autores concluíram que tais dispositivos são eficazes na redução da contaminação por bactérias e vírus testados.

Pesquisas têm mostrado a eficácia da radiação UV-C contra os coronavírus, incluindo SARS-CoV e MERS-CoV. A dose de 3,7mJ/cm<sup>2</sup> parece ser suficiente para expressiva inativação desses vírus. Esses resultados também podem ser aplicáveis ao SARS-CoV-2 e suas futuras mutações, uma vez que mutações no RNA podem ter uma forte influência na patogenicidade de um vírus, mas não resultam em maiores diferenças estruturais, principalmente no que diz respeito às propriedades de absorção de UV pelo RNA, que são a principal causa do efeito antiviral da radiação ultravioleta. Portanto, pode-se concluir que os sistemas e procedimentos de desinfecção por UV-C já existentes são suficientes para lidar com todos os coronavírus, incluindo SARS-CoV-2 (Heßling et al, 2020)<sup>53</sup>.

### **2.1.3 Precauções no uso da irradiação UV-C**

Existem riscos associados ao uso da irradiação UV-C ou UVGI. A exposição excessiva pode causar dano à pele e aos olhos. O Instituto Nacional de Segurança e Saúde

Ocupacional dos EUA recomenda que a exposição a UV-C (254 nm) seja inferior a 6000  $\mu\text{J} / \text{cm}^2$  ( $6000 \mu\text{W} \cong \text{seg}$  ou  $0.006\text{J}/\text{cm}^2$ ) durante um período diário de 8 horas em pele ou olhos desprotegidos. (Talbot et al, 2002)<sup>55</sup>

## 2.2 Máscara de filtro N95

As máscaras de filtro N95 são indicadas para proteção respiratória de trabalhadores da saúde. Seu uso previne a inalação de partículas infecciosas que podem estar presentes no ambiente clínico, as quais compõem o chamado bioaerosol. Essas máscaras são capazes de filtrar 94 a 95% das partículas com diâmetro superior a 0,3  $\mu\text{m}$ , em testes de certificação do NIOSH (National Institute for Occupational Safety)<sup>6</sup>. Em território brasileiro, os filtros N95 recebem a denominação de Peças semiFaciais Filtrantes (PFF2) e são certificadas pela FUNDACENTRO (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho). Além do filtro N95, existem os filtros N99 e N100, que correspondem a eficiências de filtração de 99% e 99,97%, respectivamente. A letra N significa que o material não está indicado para névoas oleosas. (Ottawa, 2014)<sup>56</sup>

As máscaras N95 protegem o usuário da inalação de bactérias, como o *Mycobacterium tuberculosis*, bacilo que apresenta tamanho estimado de 1 a 5  $\mu\text{m}$  de diâmetro e que pode permanecer suspenso no ar por várias horas, transmitindo a tuberculose (TB) (Kim et al, 2018<sup>4</sup>; Diel et al., 2020<sup>5</sup>).

Com relação à proteção contra vírus, sabe-se que esses organismos possuem diâmetro de 0,02 a 0,3  $\mu\text{m}$ , ou seja, podem ser consideravelmente menores que o tamanho da partícula mais penetrante aceito nos filtros N95 (de 0,3  $\mu\text{m}$ ), conforme testes de certificação das máscaras (Balazy et al, 2006)<sup>57</sup>. No entanto, o movimento browniano, movimento aleatório das partículas, favorece a interceptação, pela malha filtrante, das partículas de diâmetro inferior a 0,3  $\mu\text{m}$  (Silva & Lima, 2007)<sup>58</sup>. Considerando esse comportamento das partículas em suspensão, além da atração eletrostática exercida pelas fibras da máscara, os filtros N95 interceptam também elevada porcentagem de partículas virais. Além disso, a maioria dos vírus transportados pelo ar está associada a partículas muito maiores do que eles próprios. Por exemplo, o vírus influenza tem cerca de 0,1  $\mu\text{m}$  de diâmetro, no entanto, estudos em ambientes internos descobriram que, em suspensão, estão associados a partículas maiores que 1  $\mu\text{m}$  de diâmetro. O tamanho das partículas

virais pode variar devido a aglomeração viral e associações com proteínas em suspensão. (Gralton et al, 2011<sup>59</sup>; Knowlton et al, 2018<sup>60</sup>; Prussin et al., 2020<sup>61</sup>).

As máscaras N95 convencionais ou aquelas mais largamente comercializadas possuem as seguintes características principais (fig. 2):

- Corpo em forma de concha, dobrável ou não, composto de camadas filtrantes em polipropileno hidrofóbico (PP ou não-tecido);
- Clipe de ajuste da máscara ao contorno do nariz do usuário, geralmente em liga de alumínio;
- Tiras elásticas que passam por trás da cabeça ou das orelhas e que fixam, com ligeira pressão, a borda da concha à face do usuário.



Figura.3: Máscara N95, modelo 8801 da 3M. (Fonte: Autora, 2022.)

Manualmente, o corpo da máscara N95 pode ser separado em três camadas (Figura 4): a camada externa tem propriedades hidrofóbicas e maior porosidade, ela deve conferir estabilidade durante o manuseio e o contato, e impedir que partículas e detritos maiores atinjam as camadas mais internas. A camada média ou intermediária é mais espessa e responsável pela eficiência da filtração. É composta de microfibras de polipropileno com um diâmetro na faixa de aproximadamente 1 a 10  $\mu\text{m}$ , que são fiadas e fundidas por fusão para produção de um não tecido muito elevado, onde as fibras sobrepostas criam uma rede, malha ou filtro 3D. (Figura 5). A camada interna, que entra em contato com a pele do usuário, é projetada para ser macia, e geralmente é resistente a fluidos para impedir

que a transpiração ou a saliva do usuário interfira no meio filtrante. As Figuras 6 e 7 apresentam a microscopia óptica das camadas externa e média de máscara N95.

Para melhorar a eficiência da filtração, mantendo alta permeabilidade ao ar, a malha filtrante recebe carga eletrostática, que pode aumentar significativamente sua eficiência e filtração sem adicionar massa ou densidade à estrutura da máscara. (Fisher et al, 2009<sup>62</sup>; Majchrzycka et al, 2019<sup>63</sup>).



Figura 4: Camadas principais que compõem a concha da máscara N95, modelo 8801 da 3M (camada externa, camada filtrante, camada interna). Fonte: Autora, 2022.



Figura 5 - Camada filtrante do respirador N95, modelo 8801 da 3M, separada manualmente em sub-camadas. Fonte: Autora, 2022.

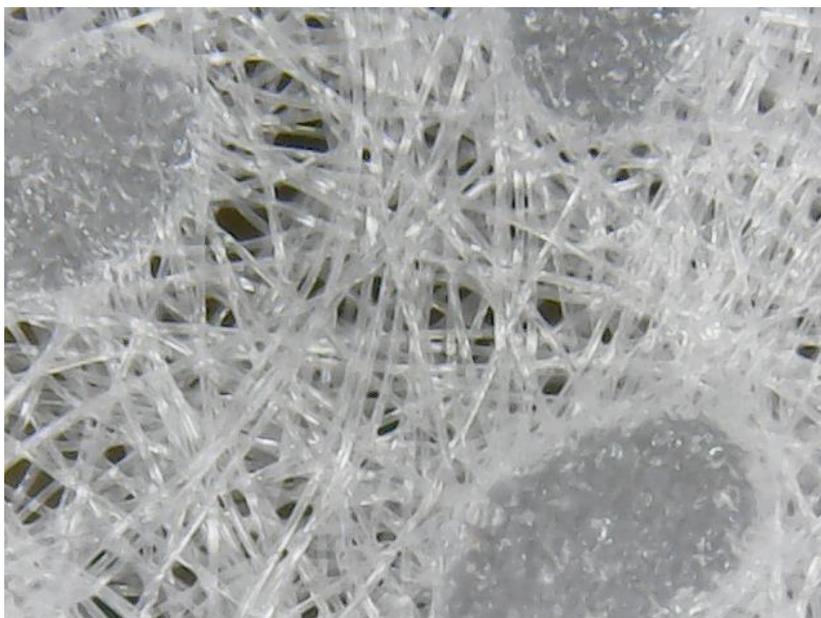


Figura 6 - Microscopia óptica da camada externa da máscara N95, modelo 8801 3M. Fonte: Autora, 2022



Figura 7 - Microscopia óptica da camada filtrante do respirador N95, modelo 8801 3M  
Fonte: Autora, 2022

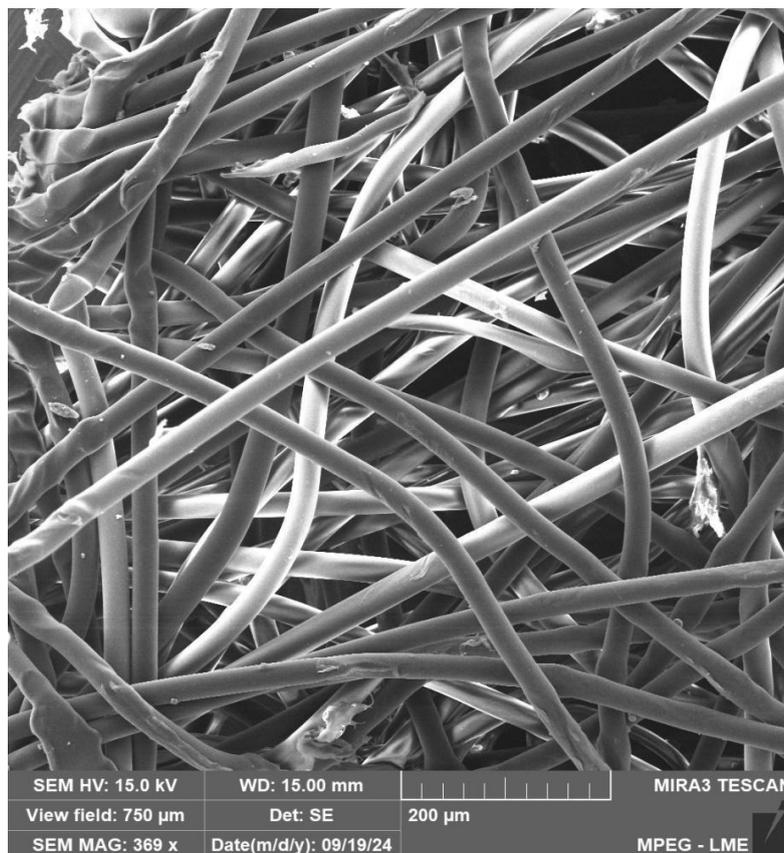


Figura 8 - Microscopia eletrônica de varredura da camada filtrante do respirador N95, modelo 8801 3M  
Fonte: Autora, 2024

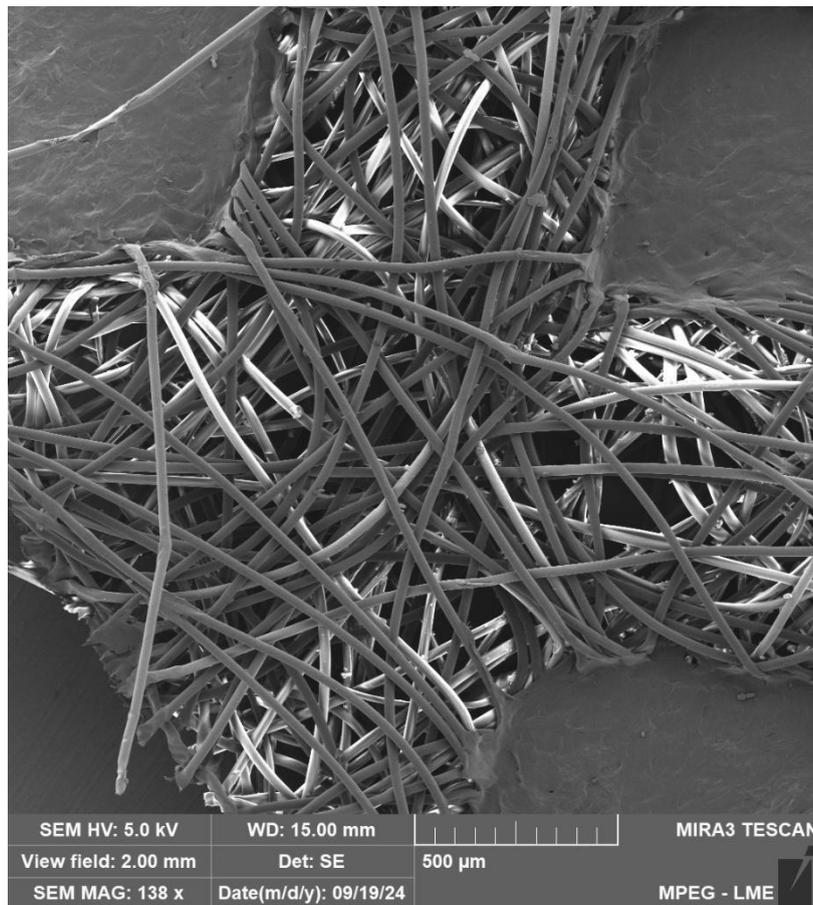


Figura 9 - Microscopia eletrônica de varredura da camada filtrante do respirador N95, modelo 8801 3M Fonte: Autora, 2024

### 2.3 Reutilização de máscaras N95

A FDA (Administração de Alimentos e Medicamentos/EUA) classifica as máscaras N95, aprovadas pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde (NIOSH/EUA)<sup>6</sup>, como itens de uso único, embora a reutilização, pelo mesmo usuário, possa ser considerada no caso de escassez desse equipamento durante uma pandemia de infecção respiratória (Sages, 2020).<sup>64</sup>

Um estudo realizado em hospital universitário no Brasil acompanhou a reutilização de N95 por profissionais de saúde. Os pesquisadores concluíram que, em 5 (cinco) dias de usos intermitentes, a maioria das peças usadas exibia "desgaste" visível, indicando possíveis danos físicos (causados pela dobra para armazenamento) e manchas ou sujeira visível no interior e na superfície externa da concha. Embora o

desempenho protetor e a contaminação das máscaras não tenham sido avaliados, os dados sugerem que os hospitais devem impor algumas restrições à reutilização, limitando-a a até 05 dias (Duarte et al., 2010).<sup>11</sup>

No caso de intenção de reutilização, a máscara N95 usada deve ser inspecionada cuidadosamente, com relação à possível contaminação por contato, presença de sujidade ou danos físicos que possam comprometer seu ajuste e sua função. É também importante armazenar as máscaras em local fresco e seco nos intervalos entre cada uso, manter os requisitos de higiene ao vestir, verificar a selagem facial da peça antes de cada uso; e limitar as utilizações a não mais do que cinco turnos de trabalhos para margem de segurança adequada (Brady et al, 2017).<sup>65</sup>

Fisher & Shaffer (2014)<sup>12</sup> destacam que para preservar a máscara, visando sua reutilização, devem ser observados pelo usuário os seguintes itens:

1. a possível contaminação da superfície da máscara deve ser minimizada evitando contato manual desnecessário com essas áreas;
2. o usuário deve observar a prática de higiene das mãos e a técnica adequada de colocação e retirada da máscara;
3. deve ser observada a higiene das mãos com água e sabão ou um desinfetante à base de álcool antes e depois de tocar ou de ajustar a máscara;
4. deve ser usado um par de luvas limpas ao se manusear uma máscara já usada;
5. máscaras usadas devem ser penduradas em uma área de armazenamento designada ou armazenadas em recipiente limpo e respirável entre os usos, para que não sejam danificadas ou deformadas. Esses recipientes de armazenamento devem ser descartados ou limpos regularmente;
6. as máscaras devem ser identificadas com o nome do usuário e armazenadas com cuidado, de forma que não entrem em contato umas com as outras para evitar a contaminação cruzada;
7. as máscaras não devem ser guardadas em bolsos, sacolas plásticas ou outras áreas confinadas;
8. as máscaras devem ter um único usuário até o seu descarte;
9. a máscara deve ser inspecionada pelo usuário com relação a danos físicos, por exemplo: tiras elásticas esticadas demais ou clipe de ajuste nasal quebrado, comprometendo a selagem adequada ao rosto, etc;

10. o número de utilizações da máscara deve ser limitado a não mais do que cinco vezes ou turnos de trabalho, para garantir uma margem de segurança adequada;
11. as máscaras devem ser descartadas imediatamente:
  - a) após o uso durante os procedimentos de geração de aerossóis;
  - b) quando são contaminadas com sangue, secreções respiratórias ou nasais ou outros fluidos corporais de pacientes;
  - c) quando se mostrarem danificadas ou quando o usuário sentir dificuldade para respirar.

A figura 10 apresenta sugestão de embalagem, adaptada de recipiente para alimentos, idealizada pela autora, para armazenamento das máscaras N95 em intervalos de uso.



Figura 10 - Máscara N95 acondicionada em embalagem disponível no mercado de recipientes plásticos, na qual foram criados poros para passagem do ar, e adaptado um cordão para pendurar e uma etiqueta de identificação do usuário. (Fonte: Autora, 2022)

#### **2.4 Contaminação e sobrevivência microbiológica em máscaras N95**

Compreender a capacidade de sobrevivência de microrganismos em filtros N95 coopera para o desenvolvimento de protocolos de reutilização dessas máscaras, quando

necessário. Nessa linha de pesquisa, o bacteriófago MS2 é comumente utilizado como um substituto de vírus, pois representaria o que é chamado de: “Pior cenário”, devido a sua resistência à desinfecção. Fisher & Shaffer (2010)<sup>19</sup> estudaram a capacidade de sobrevivência do bacteriófago MS2 em máscaras N95. Os autores observaram sobrevivência prolongada, por até 10 dias, em temperatura de 22°C, com 30% de umidade relativa do ar. Esses resultados apoiam evidências de que máscaras podem servir como fômites (capazes de absorver, reter e transportar organismos contagiantes ou infecciosos) e reforçam a necessidade de desenvolver um procedimento viável de descontaminação antes da reutilização delas.

Casanova et al (2010)<sup>20</sup> demonstraram que um substituto para o coronavírus SARS, vírus da gastroenterite transmissível, permanece viável por vinte e quatro horas em amostras de filtros N95.

Coulliette et al. (2013)<sup>13</sup> revelaram que bacteriófagos (MS2) substitutos do vírus influenza A (H1N1) depositados em máscaras de filtro N95 podem permanecer infecciosos por pelo menos seis dias.

Casanova & Waka (2013)<sup>14</sup> determinaram as taxas de inativação de vírus respiratórios na superfície de máscaras N95 à temperatura e umidade ambientes. Os autores mostraram que, para que fosse alcançada redução de 4 log de vírus infecciosos na superfície da máscara, seriam necessárias 87 (oitenta e sete) horas em umidade relativa de 40%, e 20 (vinte) horas em umidade relativa de 60%.

Ahrenholz et al (2018)<sup>16</sup> analisaram a contaminação de máscaras N95 usadas por profissionais da saúde a fim de determinar o risco ocupacional associado ao uso prolongado ou à reutilização desses equipamentos de proteção individual (EPI). Os autores concluíram que vírus influenza viáveis poderiam ser extraídos de máscaras N95, refletindo a presença do bioaerossol no ambiente de cuidados médicos.

Lin et al (2018)<sup>21</sup>; Majchrzycka et al (2018)<sup>24</sup> observaram que microrganismos depositados no tecido filtrante de máscaras N95 multiplicam-se em condições de alta umidade, formando biofilmes. Quando esse biofilme está firmemente aderido às fibras, sua presença reduz a porosidade do filtro e pode causar maior resistência à respiração. Por outro lado, fragmentos de biofilme podem desprender-se (especialmente em altas velocidades de fluxo de ar), migrar pelo material filtrante e ser inalados, o que constituiria uma fonte secundária de exposição para o usuário.

Em um dos primeiros estudos que quantificaram a eficiência de transferência de vírus de uma máscara N95 para mãos de indivíduos humanos durante exercícios de colocação e retirada desse equipamento, Brady et al (2017)<sup>65</sup> concluíram que, se a reutilização das máscaras N95 for realizada com a técnica adequada, o potencial de autocontaminação pode ser minimizado, concordando com as recomendações do Centro de Controle de Doenças dos Estados Unidos da América (CDC/EUA)<sup>9,10</sup>, que permite a reutilização de máscaras N95 em crises de saúde pública.

Rule et al (2018)<sup>17</sup> confirmaram a contaminação pelo vírus influenza A de máscaras N95 usadas por profissionais de saúde após atendimento a pacientes hospitalizados por gripe.

Blachere et al (2018)<sup>18</sup> sugerem que vírus aprisionados do lado de fora das máscaras podem representar um risco indireto de transmissão por contato, se o profissional retirar esse EPI após consultar um paciente e continuar a usá-lo por um longo período de tempo.

Majchrzycka et al (2016)<sup>33</sup>, confirmaram o crescimento de microrganismos em não-tecidos filtrantes utilizados na construção das máscaras N95, sendo que *Staphylococcus aureus* exibiram uma das maiores taxas de sobrevivência em um curto período de incubação. A composição dos não-tecidos (como a natureza química da superfície e a geometria da fibra) mostrou-se menos importantes no contexto do crescimento microbiano do que a capacidade do não-tecido de acumular umidade sob condições reais. Os mesmos autores, em 2019, confirmaram esses achados em estudo similar (Majchrzycka et al., 2019).<sup>63</sup>

A umidade representa fator capaz de comprometer a proteção oferecida pela máscara, pois favorece a sobrevivência de microrganismos no material (Jachowicz et al, 2019)<sup>66</sup>.

Nikiforuk et al (2017)<sup>15</sup> demonstraram a penetração do vírus ebola através dos poros do material filtrante quando máscaras foram saturadas com solução salina tamponada com fosfato (PBS), simulando a umidificação pela respiração e transpiração do usuário.

Uma das novas e promissoras diretrizes de pesquisa relacionadas ao problema do crescimento microbiano na máscara é o uso de materiais filtrantes contendo agente bioativo para proteção do trato respiratório contra bioaerossóis. A confecção da parte

filtrante com materiais biocidas tornaria as máscaras reutilizáveis, limitando o crescimento de microrganismos, independentemente das condições microclimáticas durante o trabalho ou armazenamento do equipamento (Majchrzycka et al, 2017<sup>67</sup>, Jachowicz et al, 2019<sup>66</sup>). No entanto, máscaras com tal tecnologia podem ser inacessíveis para uso na saúde pública de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

Quan et al (2017)<sup>68</sup> apresentam um sistema de revestimento das fibras de polipropileno (PP) da camada filtrante de máscaras N95 com cloreto de sódio (NaCl), evidenciando que a recristalização do sal é capaz de destruir fisicamente vírus influenza adsorvidos nessa camada. Segundo os autores, tal sistema teria baixo custo e tornaria as máscaras reutilizáveis sem processamento.

Lin et al (2017)<sup>69</sup> estudaram os efeitos de nutrientes como saliva e transpiração artificiais sobre a sobrevivência do bioaerosol depositado experimentalmente em máscaras N95. Os autores encontraram correlação positiva entre a sobrevivência de esporos de *Bacillus subtilis* e células de *Escherichia coli* e o volume de nutrientes adicionados. Esse estudo reforçou a indicação de armazenamento das máscaras em embalagem respirável e em local seco, no caso de intenção de reutilização.

Chin et al 2020<sup>25</sup> estudaram a estabilidade do vírus SARS CoV-2 em diferentes condições ambientais produzidas *in vitro*. Observaram vírus em nível detectável na camada externa de máscaras cirúrgicas após 7 (sete) dias da inoculação.

## **2.5 Descontaminação de máscaras N95**

O termo descontaminação refere-se, nesta pesquisa, a todo o processo que objetiva remoção de contaminantes biológicos que podem estar presentes nas máscaras N95 de forma a torná-las inócuas para a reutilização segura.

Estratégias têm sido pesquisadas para a descontaminação de máscaras N95 visando sua reutilização segura. Em tais pesquisas, três questões principais são avaliadas:

1. se é mantido o nível de proteção respiratória da máscara N95 após a descontaminação;
2. se a descontaminação altera as percepções do usuário relacionadas à tolerabilidade e à usabilidade (por exemplo, conforto, odor ou facilidade de colocação); e,
3. se a descontaminação será eficaz na redução da capacidade infecciosa dos organismos-alvo (Viscusi et al, 2011<sup>70</sup>; Lore et al, 2011<sup>36</sup>).

Entre as estratégias estão: a utilização do óxido de etileno gasoso, do peróxido de hidrogênio vaporizado (VHP), da irradiação em forno de micro-ondas, da irradiação germicida ultravioleta (UVGI) ou de ondas curtas (UV-C), hipoclorito de sódio (0,6%), entre outras. Pesquisas que avaliaram tais métodos foram revisadas pela autora e são apresentadas em ordem cronológica.

Em 2004, o estudo de Darnell et al., 2004<sup>71</sup>. mostrou que a luz UV-C inativou o vírus SARS-CoV de forma eficiente. Para o experimento, a lâmpada UV foi colocada 3 cm acima de placas contendo o vírus. A exposição do vírus SARS-CoV à luz UV-C resultou em inativação parcial em 1 min, com aumento da eficiência em até 6 min, resultando em uma diminuição de 400 vezes no vírus infeccioso. Nenhuma inativação adicional foi observada de 6 a 10 min. Após 15 minutos, o vírus foi completamente inativado até o limite de detecção do ensaio, que é  $\leq 1,0$  TCID<sub>50</sub> (log 10) por ml.

Viscusi et al, 2009<sup>72</sup> avaliaram 5 (cinco) métodos de descontaminação de máscaras N95, com relação a possíveis alterações na aparência física, odor e desempenho das máscaras (penetração do aerossol do filtro e resistência do fluxo de ar do filtro). Os autores mostraram que a tentativa de descontaminação com o calor seco do micro-ondas pode derreter ou degradar a máscara, enquanto o calor úmido, exige a secagem da peça após o tratamento. Mostraram ainda que os desinfetantes químicos requerem lavagem e secagem e, ainda assim, podem deixar odor ou resíduo químico na máscara descontaminada. Os sistemas gasosos que utilizam óxido de etileno ou peróxido de hidrogênio vaporizado requerem equipamentos especializados e controles de ventilação. No processo de descontaminação das máscaras N95 pelo óxido de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) há considerável aquecimento durante o ciclo de esterilização, que tem duração de uma hora e é seguido por quatro horas de aeração. A limitação desse método está no tempo longo de processamento e no risco de permanência de resíduos e subprodutos tóxicos decorrentes do óxido de etileno. O mesmo estudo constatou que o tratamento com UVGI ou UV-C (176–181 mJ/cm<sup>-2</sup>) não afetou a penetração do aerossol do filtro, a resistência do fluxo de ar do filtro ou a aparência física das máscaras num tempo de irradiação relativamente curto (30 min).

Salter et al (2010)<sup>73</sup> identificaram que o tratamento descontaminante pelo óxido de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) produziu resíduos detectáveis de 2-hidroxietyl acetato, um subproduto perigoso, possivelmente formado por uma reação do óxido de etileno com partes de

borracha da máscara, como as tiras elásticas.

Bergman et al (2010)<sup>74</sup> submeteram seis modelos de máscaras N95 a três ciclos de descontaminação de cada um dos oito métodos testados (UV-C/UVGI, óxido de etileno, plasma de gás de peróxido de hidrogênio, irradiação em micro-ondas a seco, peróxido de hidrogênio líquido, vapor gerado por micro-ondas, incubação por calor úmido ou pasteurização, vapor de peróxido de hidrogênio). Os autores avaliaram alterações físicas e testaram a competência de filtração das peças após a descontaminação. Testes laboratoriais não mostraram alteração no desempenho de filtração das peças submetidas a todos os métodos de descontaminação, com exceção do tratamento com plasma gasoso de peróxido de hidrogênio, que elevou os níveis de penetração do filtro para mais de 5% em quatro dos seis modelos testados. A UV-C/UVGI (1,8 mW/cm<sup>2</sup>) mostrou-se como único método que não causou alterações físicas observáveis nas máscaras testadas.

Fisher & Shaffer (2010)<sup>19</sup> estudaram a descontaminação por UV-C ou UVGI. Esses autores observaram que a penetração da irradiação UV-C através das camadas da PFF2 ocorre por meio das lacunas e poros existentes entre as fibras do material. A dose ideal de irradiação UV-C para dado microrganismo deve atingir a camada média da máscara, implicando dose excessiva para a camada externa, o que fornecerá um fator de segurança. Esses autores concluíram que a irradiação aplicada em uma única direção, a partir da superfície externa da máscara, fornece adequada descontaminação; e que a dose de UV-C de aproximadamente 1000mJ/m<sup>2</sup> produziu efeito descontaminante para todos os modelos de máscaras testadas, sendo que o tempo para o atingimento dessa dose variou conforme o modelo da PFF2.

Viscusi et al (2011)<sup>70</sup> estudaram a descontaminação de N95 com o objetivo de avaliar alterações de odor, conforto ou ajuste nas peças descontaminadas. Os métodos descontaminantes selecionados foram: UV-C/UVGI (1.8 mW/cm<sup>2</sup>), vapor gerado por micro-ondas e calor úmido. Não houve alteração física perceptível nos modelos testados em qualquer dos três métodos, ou alteração de odor, conforto ou ajuste, após um ciclo de descontaminação.

Heimbuch et al (2011)<sup>75</sup> submeteram máscaras N95, experimentalmente contaminadas com aerossol do vírus influenza H1N1, a três métodos de descontaminação: vapor gerado por micro-ondas (2 minutos em potência alta); calor úmido no forno comum

(65°C±5°C por 30 minutos); e irradiação UV-C (1,6 a 2,2mW/cm<sup>2</sup> por 15 minutos). Os autores observaram que a inativação das partículas virais foi superior a 4 log nos três métodos. Os autores recomendaram a adaptação de sistemas UV-C/UVGI já utilizados em hospitais para a descontaminação de máscaras N95, de forma a minimizar sua escassez durante pandemias.

No caso da descontaminação pelo vapor gerado em forno de micro-ondas, tanto no estudo de Viscusi et al (2011)<sup>70</sup> como no estudo de Heimbuch et al (2011)<sup>75</sup> foram utilizados fornos de micro-ondas convencionais de 2450MHz. As máscaras foram submetidas a ciclo de 2 (dois) minutos em potência alta, posicionados com a concavidade para baixo, em embalagem vazada, plástica ou de vidro, para a passagem do vapor. O vapor foi gerado por um recipiente com 50ml de água posicionado por baixo da embalagem que continha a máscara. Houve necessidade de secagem das peças tratadas por uma a dezesseis horas.

Fisher et al (2011)<sup>26</sup> também testaram a descontaminação de máscaras N95 em forno de micro-ondas. Esses autores embalaram as peças em sacos de vapor prontos para uso em micro-ondas, e obtiveram bons resultados. No entanto, afirmaram a necessidade de novos estudos antes que o uso de bolsas a vapor possa ser considerado para descontaminação das máscaras para fins de reutilização.

Entre os métodos químicos estudados para descontaminação das máscaras está a imersão em hipoclorito de sódio (água sanitária) a 0,5% ou 0,6% por 10 (dez) a 30 (trinta) minutos, seguida de secagem por 16 (dezesseis) horas. Tal método, embora não tenha alterado a resistência ao fluxo de ar ou a eficiência de filtração das máscaras testadas, causou manchamento ou oxidação em torno do clipe metálico de ajuste nasal e a deterioração da almofada interna de conforto nasal que está presente em alguns modelos. O tempo de secagem longo e a observação de resíduo químico ou odor de cloro contra-indicam o método (Salter et al, 2010<sup>73</sup>, Bergman et al, 2010<sup>74</sup>; Viscusi et al, 2011<sup>70</sup>; Heimbuch et al, 2014<sup>27</sup>; Lin et al, 2018<sup>21</sup>).

Lore et al (2011)<sup>36</sup> avaliaram a capacidade virucida de três métodos de descontaminação de máscaras N95: irradiação germicida ultravioleta (UV-C/UVGI), vapor gerado por micro-ondas e calor úmido em forno comum. Os métodos estudados mostraram descontaminação satisfatória das máscaras sem comprometer o desempenho de filtração. Entretanto, a descontaminação por radiação UV-C por um total de 15 minutos

a uma dose de  $18 \text{ kJ m}^{-2}$  resultou em níveis mais baixos de RNA do vírus influenza A (H5N1) detectável, comparado com a descontaminação pelo calor úmido. Esses achados sugerem que, quando implementados adequadamente, esses métodos de descontaminação poderiam prevenir a contaminação cruzada em situações em que a reutilização de máscaras N95 se faz necessária.

Lindsley et al (2015)<sup>28</sup> estudaram os efeitos da irradiação UV-C sobre o desempenho de filtração e sobre integridade estrutural das máscaras N95. A resistência ao fluxo permaneceu praticamente inalterada após a exposição ao UV-C/UVGI para todas as máscaras testadas, em doses de até  $950 \text{ J / cm}^2$ . Os autores concluíram que a UVGI pode ser usada para desinfetar as máscaras, embora o número máximo de ciclos de desinfecção dependa do modelo da máscara e da dose de UVGI necessária para inativar o patógeno.

Lin et al (2018)<sup>21</sup> compararam cinco métodos de desinfecção de máscaras N95 contaminados *in vitro* com *Bacillus subtilis e esporos*, a saber: descontaminação química em baixa temperatura usando alvejante (0,54% NaOCl) e etanol (70%); descontaminação física usando a luz ultravioleta de ondas curtas (UV-C); descontaminação por calor úmido em autoclave; e por calor seco em panela elétrica tradicional de arroz. Nenhuma colônia foi recuperada após exposição à UV-C por cinco minutos, em irradiância de  $18,9 \text{ mW/cm}^2$ . O emprego de alvejante, a autoclave e a panela elétrica também mostraram esterilização eficaz, eliminando 99 a 100% das bactérias e de seus esporos. No entanto, o emprego do alvejante pode deixar resíduos químicos e exigir uso de neutralizantes. Por outro lado, o etanol a 70% foi eficiente contra as bactérias, mas não contra seus esporos. Além disso, os alcoóis removem a carga eletrostática do meio de filtragem da máscara, e com isso degradam substancialmente sua capacidade de filtração.

No estudo de Mills et al, (2018)<sup>29</sup>, a UV-C/UVGI na dose de  $1 \text{ J/cm}^2$ , obtida em aproximadamente 1 minuto de irradiação, demonstrou ser eficaz na descontaminação de máscaras contaminadas por influenza. Esses autores também observaram que características do modelo da máscara, como sulcos e pregas, podem criar sombras quando a peça é exposta à luz e assim inibir a eficiência da descontaminação.

Cadnum et al (2020)<sup>76</sup> estudaram a eficácia de um equipamento emissor de UV-C (Advanced Ultraviolet Systems, South Hill, VA) na descontaminação de máscaras N95 artificialmente contaminadas com *Staphylococcus aureus* resistentes a meticilina

(MRSA), bacteriófago MS2 e bacteriófago phi6. Os resultados mostraram que a descontaminação na caixa UV-C testada pode ser considerada para reduzir a contaminação de máscaras, antes da reutilização. No entanto, no equipamento testado, os níveis de redução não atenderam aos critérios pré-estabelecidos, ou seja,  $> 3\text{-log}_{10}$ . Assim, o nível de redução alcançado não seria adequado para permitir uso compartilhado de máscaras por indivíduos diferentes.

Cheng et al (2020)<sup>77</sup> testaram a desinfecção por Peróxido de Hidrogênio Ionizado ( $\text{H}_2\text{O}_2$  - IHP) de máscaras N95 contaminados experimentalmente com vírus influenza A, subtipo H1N1, que possui características virológicas semelhantes às características dos coronavírus. O peróxido de hidrogênio ionizado na forma de gás, envolveu a superfície externa das máscaras N95 durante seis segundos, deixando como subproduto oxigênio e água. Todas as máscaras testadas deixaram de exibir vírus viáveis. O experimento, embora eficiente, necessita de equipamento especial e implica risco químico, uma vez que somente após três horas da exposição ao gás, o nível de  $\text{H}_2\text{O}_2$  na superfície interna da máscara tornou-se indetectável.

Schwartz et al (2020)<sup>78</sup> apresentaram protocolo de descontaminação em sala especificamente preparada para exposição das máscaras a até 30 (trinta) ciclos de exposição ao  $\text{H}_2\text{O}_2$ , visando prolongar a vida útil do suprimento disponível desses EPI em tempos de escassez. Os autores relatam a eficácia desinfetante do método, que foi testado com esporos de *Geobacillus stearothermophilus* como indicador biológico, assim como a ausência de observação de danos estruturais às máscaras ou de odor desagradável.

A descontaminação pelo vapor de peróxido de hidrogênio (VPH) foi demonstrada em estudos piloto para permitir múltiplos ciclos de processamento das N95 (até 50 ciclos) com preservação aceitável da função. Esse protocolo de descontaminação foi aprovado pelo FDA (Food and Drug Administration/USA) como um método de descontaminação de máscaras N95 para profissionais de saúde durante a pandemia de COVID-19 (Sages, 2020)<sup>64</sup> O Método, no entanto, exige equipamento complexo e a descontaminação é feita em larga escala e de forma não individualizada.

## **2.6 Descontaminação de máscaras N95 por UV-C**

Com relação à descontaminação por UV-C, Heimbuch & Harnish (2020)<sup>79</sup>, em artigo de revisão, enumeram as principais conclusões e recomendações sobre o tema da

(descontaminação-reutilização das N95, as quais também foram observadas na presente revisão de literatura.

- A descontaminação de máscara N95 por UV-C pode ser eficaz contra múltiplas cepas de influenza e coronavírus, inclusive na presença de contaminantes da saliva e da transpiração do usuário (Lore et al, 2011<sup>36</sup>; Heimbuch et al, 2011<sup>75</sup>)
- A máscara N95 pode suportar vários ciclos de descontaminação por UV-C sem que seja significativamente reduzido seu desempenho de filtração, porém o número máximo de ciclos de exposição está na dependência do modelo da máscara (Viscusi et al, 2009<sup>72</sup>; Bergman et al, 2010<sup>74</sup>).
- A repetição do ato de vestir e retirar a máscara N95, em protocolos de reutilização, pode ter um impacto mais adverso para o desempenho da máscara do que a exposição à UV-CI.
- A descontaminação da N95 por UV-C pode ser realizada sem afetar significativamente sua inflamabilidade ou sua resistência à fluidos.
- Os profissionais de saúde preferem reutilizar seus próprios dispositivos de proteção a usar dispositivos compartilhados após descontaminação em massa.
- Os profissionais de saúde preferem que a descontaminação seja disponibilizada em área próxima a do atendimento clínico a pacientes.

Segundo a revisão sistemática de Rodriguez-Martinez et al (2020)<sup>80</sup> sobre as evidências relativas à descontaminação e reutilização das máscaras N95, o uso da UV-C apresenta as seguintes vantagens:

1. Reduções significativas na recuperação e viabilidade do vírus influenza, mesmo em condições de sujeira;
2. Redução substancial na recuperação de patógenos como esporos de bacillus subtilis após exposição a UV-C por, pelo menos, 5 (cinco) minutos;
3. Inativação do vírus H1N1, H5N1, H7N9, MERS-CoV, SARS-CoV e SARS-CoV-2;
4. Nenhum efeito significativo na penetração de aerossóis pelo filtro, resistência ao fluxo de ar do filtro, ajuste e vedação, odor, desconforto,

dificuldade em vestir ou mudança na aparência física após até 20 (vinte) ciclos de descontaminação;

5. Sem efeito significativo na eficiência de filtração após 10 (dez) ciclos de descontaminação.

Uma possível preocupação em relação à desinfecção UV-C para máscaras N95 é a profundidade de penetração UV. Como a irradiação UV-C tem um comprimento de onda em torno de 250 nm, e o polipropileno é um absorvedor de UV, é difícil concluir se partículas virais menores, profundamente dentro do filtro, podem ser desativadas através de UV-C. No entanto, se as partículas tiverem tamanho maior e permanecerem localizadas na superfície, a UV-C parece eficiente para a segurança na descontaminação e reutilização da N95 (Liao et al, 2020<sup>81</sup>). O gabinete do esterilizador UV-C/UVGI (254 nm, 8 W) usado por Liao et al 2020<sup>81</sup>, em testes de esterilização de máscaras N95, não impactou as propriedades de filtragem dentro de um número razoável de ciclos de tratamento, até 10 ciclos. A dose de irradiação no gabinete deve ser determinada de modo que seja adequada para a inativação de SARS-CoV-2 com dano mínimo à máscara. A utilização da UV-C exige que as máscaras não sejam empilhadas, para que a radiação incidente não seja absorvida apenas pela superfície externa.

Heimbuch & Harnish (2020)<sup>79</sup> avaliaram as doses de UVC necessárias para descontaminar cupons circulares preparados a partir de máscara facial filtrante 3M 1870 N95 (FFRs) usando uma variedade de vírus, incluindo influenza A (H1N1), vírus influenza aviário A (H5N1), influenza A (H7N9) A / Anhui / 1/2013, influenza A (H7N9) A / Shanghai / 1/2013, MERS - CoV e SARS - CoV. Não houve vírus viável detectável para todas as seis estirpes após descontaminação UV-C usando  $1\text{J}/\text{cm}^2$ . Esta dose agora está refletida nos sites dos Centros de Controle e Prevenção de Doenças (CDC)<sup>9,10</sup>. A radiação UV-C parece ser segura para máscaras N95 nos níveis necessários para alcançar a descontaminação. O desafio da tomada de decisão é determinar um limite superior seguro do número de ciclos de descontaminação que uma máscara individual pode experimentar, uma vez que os danos da radiação UV são cumulativos.  $10\text{J}/\text{cm}^2$  é a maior quantidade total de radiação UV-C para a qual absolutamente nenhuma degradação física é observada.

Fischer et al (2020)<sup>82</sup> indicam que, em tempos de escassez, as máscaras N95 podem ser descontaminadas e reutilizadas até 3 vezes usando luz UV-C, e recomendam

realizar a descontaminação por tempo suficiente e garantir o funcionamento adequado dos filtros.

Com base na revisão da literatura, a descontaminação UV-C e reutilização de máscaras N95 deve considerar:

1. antes do primeiro ciclo de descontaminação, a máscara deve ser identificada pelo usuário;
2. após a descontaminação, o EPI deve ser armazenado em embalagem respirável;
3. durante a descontaminação UV-C, máscaras não devem ficar sobrepostas;
4. deve-se identificar gradativamente o número de ciclos UV-C a que a máscara foi submetida;
5. a fonte UV-C não deve ser ligada com a porta do dispositivo aberta.

Na experiência de Indemeet kohli et al (2020)<sup>83</sup> máscaras N95 foram descontaminadas com dose UV-C de  $1.5\text{J}/\text{cm}^2$  em cada superfície (interna e externa) da máscara. O tempo total de descontaminação na cabine UV-C usada pelos autores foi de seis minutos, sendo que na metade desse tempo, a luz foi desligada para que a máscara fosse virada no interior da cabine. A dose total de UV-C alcançada foi de  $3\text{J}/\text{cm}^2$ . Os autores demonstraram, por meio de sensores UV-C, que as regiões da concha da máscara mais próximas da fonte recebem doses mais altas de irradiação, e que todos os pontos da máscara receberam uma dose de pelo menos  $900\text{mJ}/\text{cm}^2$ . Aproximadamente 10% da dose UV-C podem penetrar em todas as camadas da máscara N95/PFF2. Os dados sugerem que após o ciclo completo de descontaminação a dose observada em todas as partes da máscara é de pelo menos  $1\text{J}/\text{cm}^2$ , conforme consenso na literatura sobre a dose mínima eficiente para todas as formas microbianas, inclusive esporos bacterianos. Também em 2020, foi relatado que, para descontaminação de máscaras N95 em modelos tipo concha, a irradiação UV-C na dose de  $1,5\text{J}/\text{cm}^2$ , aplicada em ambos os lados da máscara, é adequada para eliminação do SARS-CoV-2, sendo que as alças elásticas podem exigir desinfecção adicional por método químico para maximizar a segurança do método (Ozog et al. 2020)<sup>41</sup>

Purschke et al. (2020)<sup>84</sup> pontuam que algumas das principais vantagens do UV-C em relação a outros métodos de descontaminação incluem rápido rendimento, facilidade de uso, baixos requisitos de energia elétrica, ausência de produtos químicos tóxicos ou perigosos e design e construção geral relativamente simples do dispositivo. Os

métodos UV-C são considerados um processo de descontaminação (redução de 3 log viral) e não um processo de esterilização (atingindo pelo menos 6 log de inativação viral e destruição de esporos). Portanto, é altamente recomendável que as máscaras processadas em dispositivos UV-C sejam devolvidas ao usuário inicial.

### **Capítulo 3 - Metodologia**

#### **3.1 Materiais**

##### **3.1.1 Máscaras N95**

Máscara N95 modelo 3M 9920 H, em embalagem de fábrica, num total de 10(dez) unidades. (Cadastro ANVISA: 80284930200) (Figura 3)

##### **3.1.2 Radiômetro**

Aparelho comercial, compacto, portátil, com recursos de "registro automático" de dados otimizados para a banda de 254 nm, com as seguintes especificações: Radiômetro 7.1 - UVC - GUVVC-T10GS7.1-LA9. Marca: Genuv.

##### **3.1.3 Dosímetros colorimétricos (UV-C Dose Indicator, American Ultraviolet, Líbano, IN)**

##### **3.1.4 Cabine de descontaminação UV-C**

Caixa construída em MDF, especialmente para a presente pesquisa, revestida internamente por folha de liga de alumínio, medindo 50cm<sup>2</sup> com abertura na face frontal, com o seguinte detalhamento: a) o centro interno da caixa está instalada a lâmpada ultravioleta de ondas curtas (UV-C), acoplada ao cronômetro manual e ligada à corrente elétrica. b) a fonte UV-C e o cronômetro utilizados na presente pesquisa estão disponíveis no mercado, conforme especificações: lâmpada ultravioleta, de bulbo duplo, 5 cm de largura, 5 cm de profundidade e 15 cm de altura, com comprimento de onda de 253 nm, 25 W de potência, ligada à rede elétrica (127 V) por meio de um reator de 20 W e um starter; cronômetro acoplado ao circuito elétrico da lâmpada para controle do tempo de irradiação. O cabo de alimentação da luz pela corrente elétrica foi traspassado por meio de orifício feito na face traseira da cabine, e acoplado ao cronômetro. (subitem b). Na face superior da cabine foram feitos dois orifícios, chamados de A e B, para a passagem da sonda UV-C e leitura da dose de irradiação. (Figura 11)

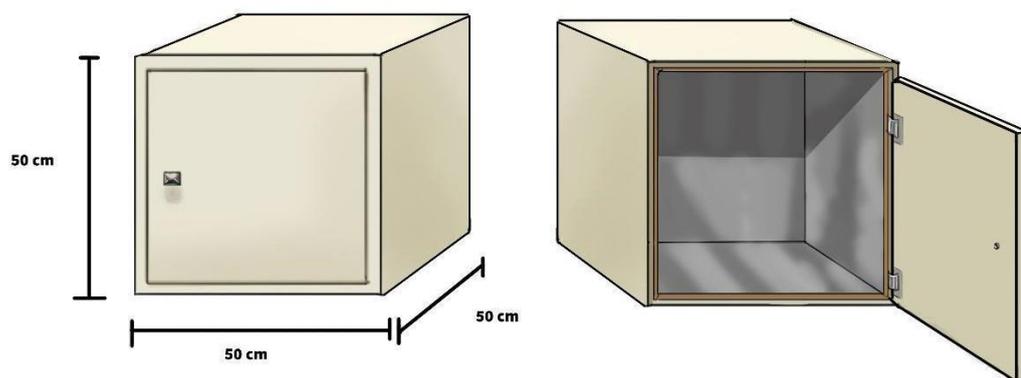


Figura 11: cabine artesanal para descontaminação UV-C (Fonte: Autora, 2022)

### **3.1.5 Cabides artesanais para posicionamento das máscaras**

Foram confeccionados cabides artesanais em arame para posicionamento das máscaras no interior da cabine de descontaminação. (Figura 12). A Figura 13 reúne os itens para a confecção da cabine de descontaminação.

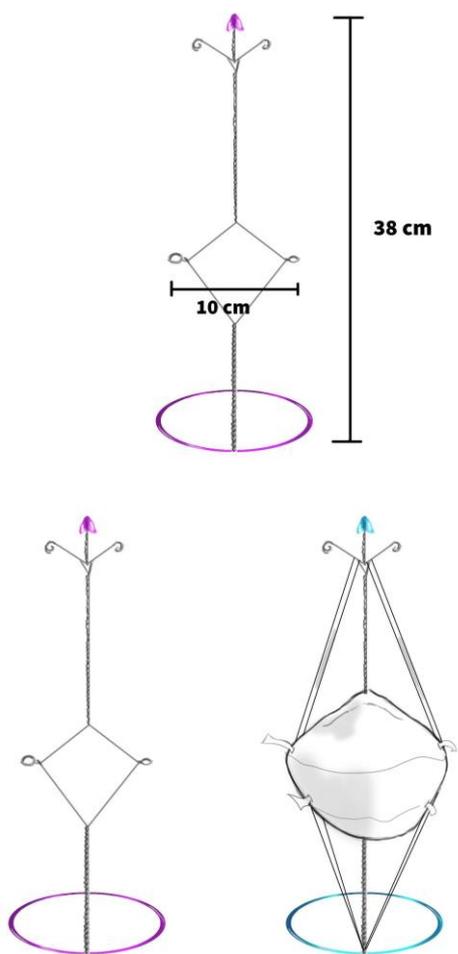


Figura 12 - Cabides artesanais para máscaras N95 (Fonte: Autora, 2022)

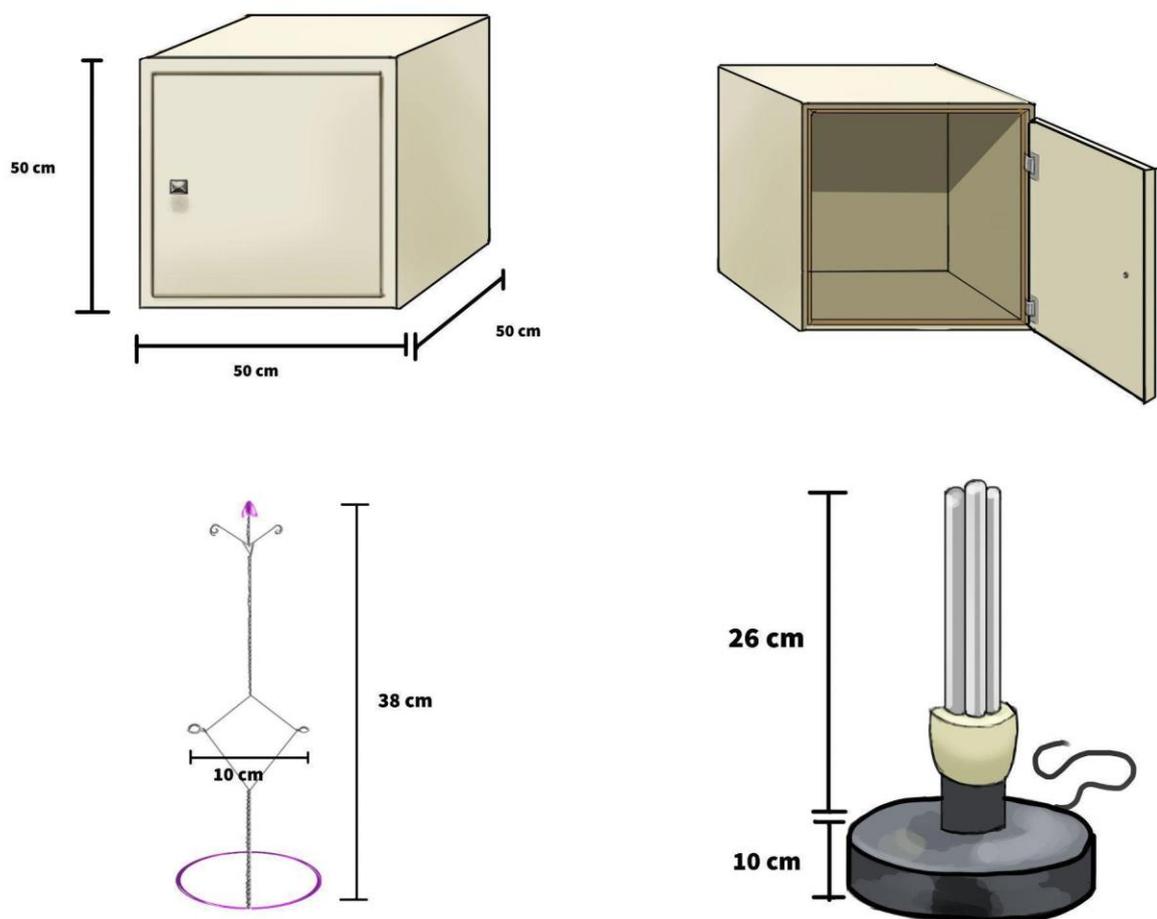


Figura 13 - Itens idealizados para a cabine de descontaminação de máscaras por UV-C  
(Fonte: Autora, 2022)

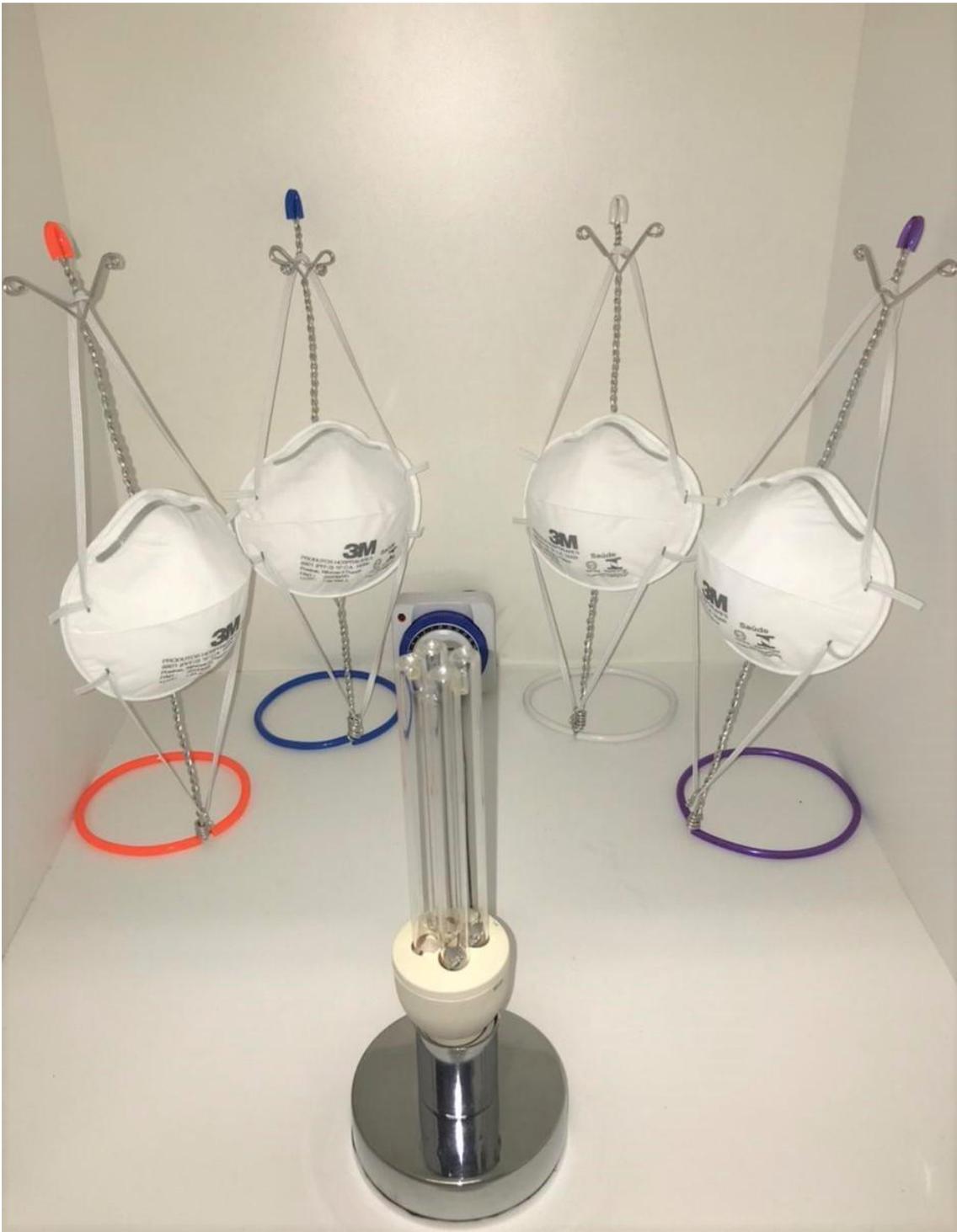


Figura 14 - Máscaras N95 posicionadas nos cabides artesanais. Lâmpada UV-C. Fase de confecção da cabine UV-C para descontaminação.

### **3.1.6 Dispositivo simplificado para descontaminação UV-C**

O dispositivo UV-C foi fabricado com peças disponíveis no mercado: tigela em

aço inoxidável, lâmpadas led UV-C (três LEDs Ultravioleta Tipo C com comprimento de onda de 270 a 280 nanômetros), ligadas à bateria recarregável. As instruções de uso do dispositivo estão afixadas na sua face externa. As Figuras 15 a 21 apresentam os protótipos da fase de planejamento. A Figura 22 apresenta o dispositivo pronto e instrumentos de pesquisa (radiômetro com sonda UV-C, cartão dosímetro UV-C, dispositivo UV-C, máscara N95). A lâmpada é montada transversalmente no interior da cuba, uma vez que os feixes de luz UV emitidos pela lâmpada UV-C são predominantemente perpendiculares à superfície da lâmpada; e que o material-alvo a ser irradiado será encoberto pela cuba. As peças em alumínio e plástico podem ser substituídas por outras, adaptadas a partir de dispositivos de cozinha, por exemplo.

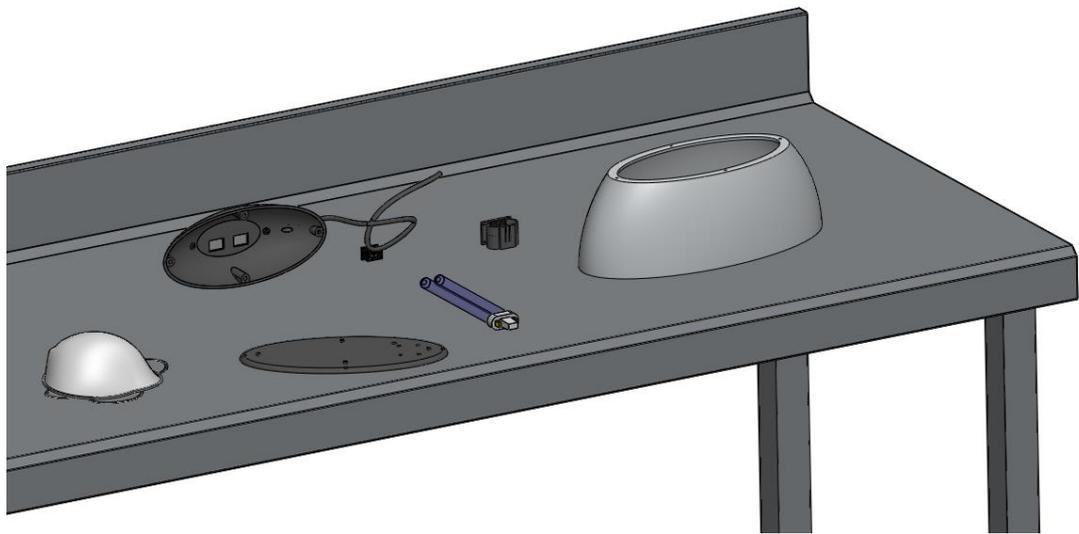


Figura 15 - Desenho das peças para a montagem do dispositivo dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).

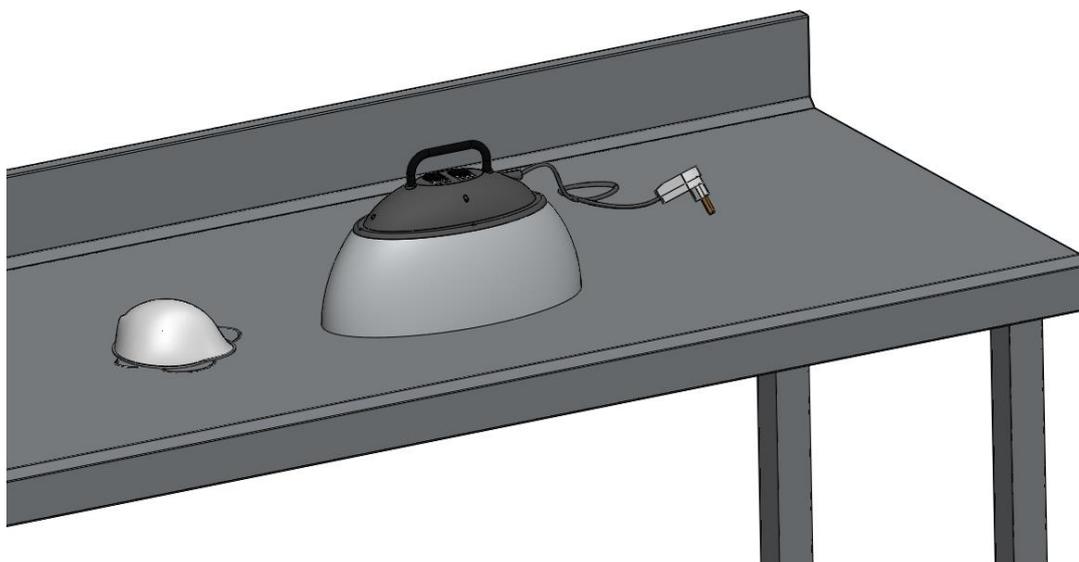


Figura 16 - Desenho do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 após montagem (Fonte: Autora, 2022).

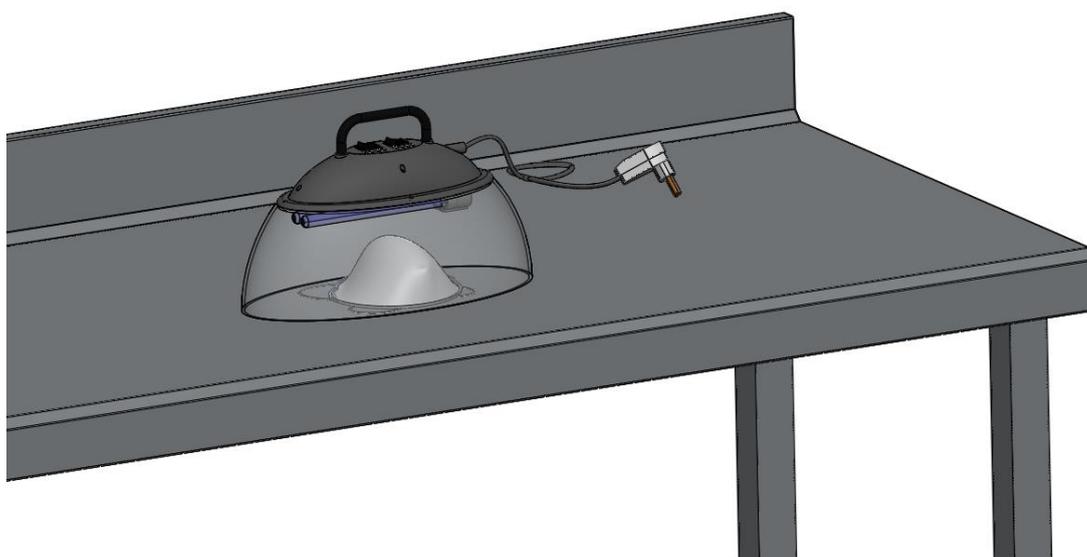


Figura 17 - Desenho do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95, simulando posicionamento da máscara N95 a ser descontaminada (Fonte: Autora, 2022).

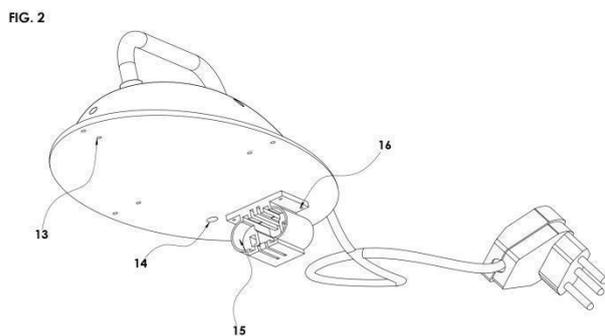
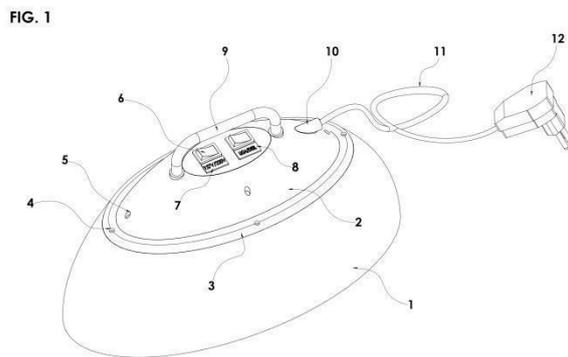


Figura 18 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).



Figura 19 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).

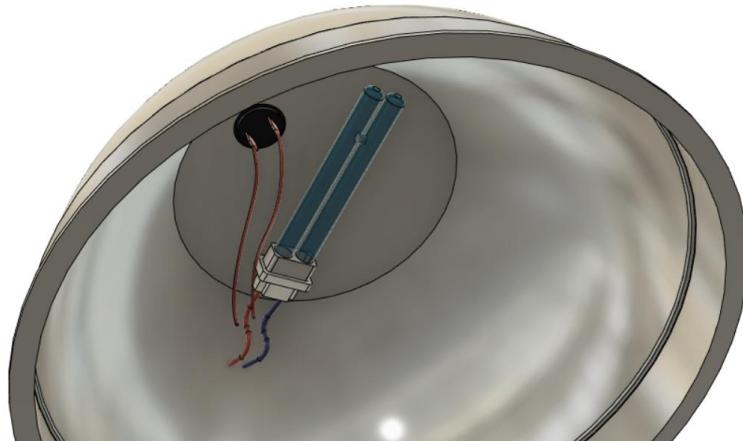


Figura 20 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022)..

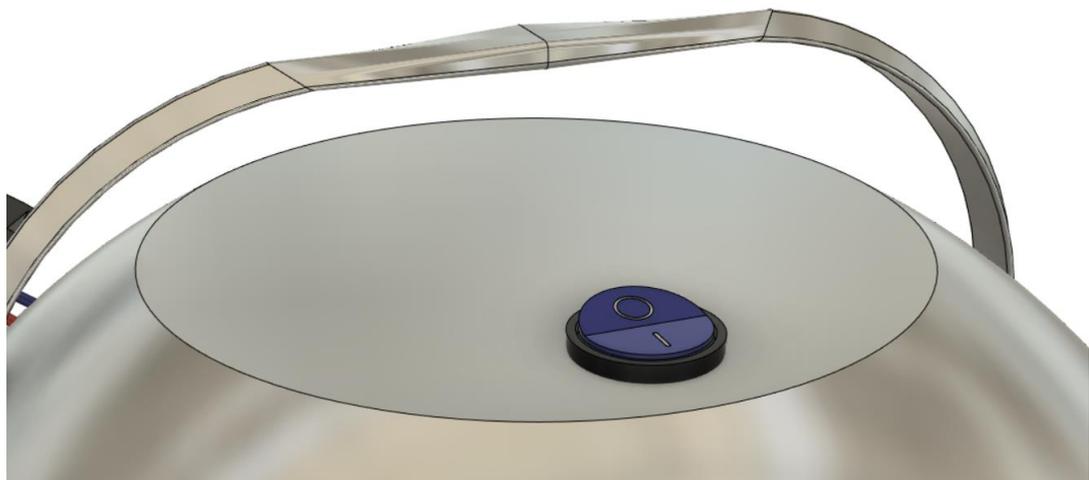


Figura 21 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022).



Figura 22 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022)..



Figura 23 - Detalhamento do dispositivo para descontaminação individual de máscara N95 (Fonte: Autora, 2022)..



Figura 24 - Radiômetro com sonda UV-C, cartão dosímetro UV-C, dispositivo UV-C, máscara N95 (Fonte: Autora, 2023).

### 3.1.7 Dispositivo para descontaminação UV-C com sistema de rotação das máscaras para garantir a exposição de todas as faces do material.

O equipamento utilizado neste estudo foi o UVmask (Figura 1), desenvolvido pela empresa BioLambda, Científica e Comercial LTDA, e fabricado pela empresa LGC Biotecnologia LTDA, cuja eficácia microbicida para esporos de bactérias foi provada por meio de testes com indicadores biológicos (IB) Clean-Test 24 h (Lote SD178, validade: 02/12/2021, Clean-Up, Paraná, Brasil) contendo o microrganismo *Geobacillus stearothermophilus* (ATCC 7953). Com relação à performance de filtração e resistência à inalação, ensaios realizados pela MSA do Brasil, seguindo recomendações da NBR 13.698/2021, mostraram que a descontaminação das máscaras N95, por até sessenta ciclos, com o uso do equipamento UVmask, conserva a performance de filtração e a da máscara. A dose de irradiação UV-C emitida pelo equipamento foi confirmada pelas

autoras com uso de radiômetro (7.1 - UVC - GUVVC-T10GS7.1-LA9. Marca: Genuv.). A dose UV-C de  $1\text{J}/\text{cm}^2$  foi atingida aos 2 minutos, enquanto a dose indicada por Ozog et al., de  $1,5\text{J}/\text{cm}^2$ , foi ultrapassada aos 4 minutos.



Figura 25 - Dispositivo UV-C com sistema de rotação das máscaras N95 (Fonte: Autora, 2024).



Figura 26 - Dispositivo UV-C com sistema de rotação das máscaras N95 (Fonte: Autora, 2024).

### 3.2 Metodologia de pesquisa

#### 3.2.1 Primeira etapa da pesquisa - medições da irradiação UV-C

A sonda UV-C foi posicionada em diferentes regiões da máscara e a diferentes distâncias da fonte de luz UV-C no interior da cabine UV-C, assim como, no interior do dispositivo UV-C simplificado e do dispositivo UV-C com sistema de rotação. O leitor do radiômetro foi acompanhado pela pesquisadora. Foram determinados o tempo e o posicionamento ideal da máscara na cabine, para a eficiência de descontaminação UV-C, considerando os parâmetros estabelecidos na literatura científica.

Os indicadores colorimétricos de UV-C foram posicionados adjacentes às máscaras e a diferentes distâncias da fonte de luz UV-C nos três dispositivos apresentados. A observação da mudança de cor do círculo central do cartão (originalmente amarelo) indica a eficiência do processo de desinfecção:

- a) a mudança para a cor laranja indica dose suficiente para inativar *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (SARM);

- b) a mudança de cor para rosa indica dose suficiente para inativar *Clostridium difficile* formador de esporos.

### **3.2.2 Segunda etapa da pesquisa - estudo microbiológico**

Para o estudo microbiológico foram recolhidas máscaras usadas por profissionais da enfermagem do HUIBB, num total de 30 (trinta) máscaras N95, de diferentes usuários. O tempo de uso clínico variou de 18 (dezoito) horas, ou seja, três plantões de 6 (seis) horas, até 24 (vinte e quatro) horas, ou seja, quatro plantões de 6 (seis) horas. Com todos os critérios de biossegurança (armazenagem em embalagem hermética e uso de EPI pela pesquisadora) as máscaras foram distribuídas em dois grupos experimentais:

Grupo 1 - composto por 10 (dez) máscaras usadas não descontaminadas.

Grupo 2 - composto por 10 (dez) máscaras usadas e descontaminadas no dispositivo de descontaminação UV-C com sistema de rotação.

Como grupo controle foram utilizadas máscaras do mesmo modelo, sem uso, em embalagem do fabricante.

Foram descartadas como lixo patológico as máscaras que se mostraram fora dos padrões para reutilização: com sujidade aparente ou deformações.

Dentre as 10 (dez) máscaras de cada grupo (1,2 e grupo controle), foram selecionadas 3 (três) unidades de forma aleatória para fins do teste de cultura bacteriana.

Foi montada uma capela de fluxo laminar com o objetivo de proteger as amostras e o meio de cultura de contaminantes durante o experimento laboratorial. A capela foi descontaminada com álcool a 70 % e com luz UV-C.



Figura 27 – Máscara usada, recolhida de profissional da enfermagem do HUIBB (Fonte: Autora, 2024).



Figura 28 - Capela de fluxo laminar montada pelas pesquisadoras, na qual se vê o dispositivo de descontaminação UV-C e a estufa bacteriológica (Fonte: Autora, 2024).



Figura 29 - Descontaminação da capela de fluxo laminar com uso de lâmpada UV-C (Fonte: Autora, 2024).

O plaqueamento foi realizado através de quatro passagens firmes com swab seco (cotonete longo e estéril) na parte externa, interna e central da máscara sendo as fricções reforçadas duas vezes entre cada semeadura, inoculando o material microbiológico em Ágar Chocolate. Posteriormente, as amostras foram incubadas por 24 horas, em estufa a 40°C. Após o período de incubação, todas as amostras passaram por avaliações macroscópicas com o auxílio estereomicroscópio. Cada colônia foi caracterizada morfolologicamente conforme Neder (1992) e atribuído um código para identificação nos demais testes. Após a diferenciação macroscópica das colônias bacterianas, selecionou-se uma de cada morfologia na qual foram aplicados os testes de catalase e preparo de lâminas com coloração de Gram, as quais foram observadas por microscopia (400x e 1000x) para a caracterização da morfologia celular.

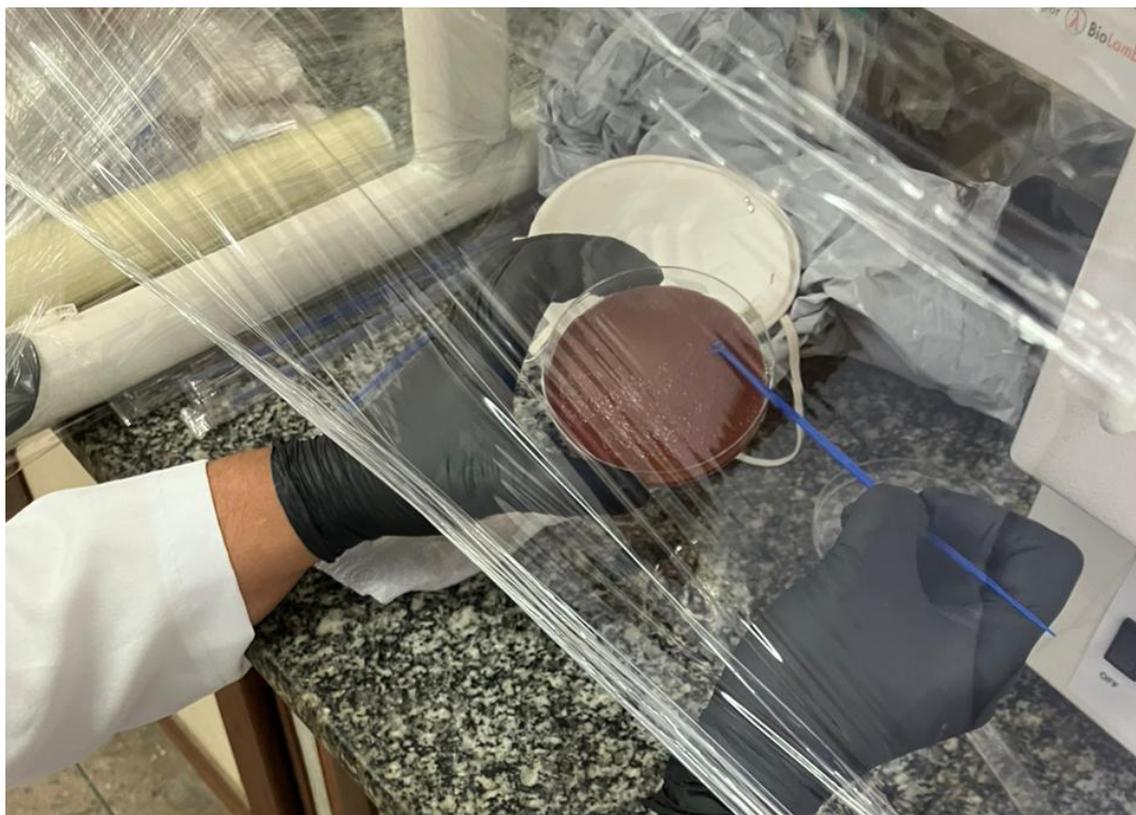


Figura 30 - Plaqueamento realizado através de quatro passagens firmes com swab seco na parte externa, interna e central da máscara sendo as fricções reforçadas duas vezes entre cada sementeira, inoculando o material microbiológico em Ágar Chocolate.

(Fonte: Autora, 2024).

### **3.2.3 Segunda etapa da pesquisa - pesquisa qualitativa**

Após montagem e testagem dos dispositivos (cabine e dispositivo simplificado) e definição dos respectivos protocolos de utilização, uma pesquisa qualitativa avaliou a aprovação dos profissionais de saúde do HUIBB à estratégia proposta pela autora.

As perguntas norteadoras da pesquisa qualitativa, apresentadas por meio de entrevista direta, conduzida pela autora, foram:

- a) Qual a frequência de retirada da máscara N95 durante o turno de trabalho?
- b) Quando retirada, qual a forma utilizada para armazenamento entre usos?
- c) Qual a forma de armazenamento da máscara entre turnos de trabalho?
- d) Quais os critérios para o descarte imediato da máscara? (contaminação com fluidos corpóreos, sujeidade aparente, dano à estrutura, falta de adaptação ao rosto, outros)

- e) Você considera importante a descontaminação da máscara entre os usos?
- f) Você considera viável a utilização do dispositivo para descontaminação de máscaras durante o turno de trabalho no hospital?
- g) Você tem preferência pelo dispositivo tipo cabine (descontaminação de conjunto de até 8 (oito) máscaras ou pelo dispositivo de descontaminação individual?
- h) Quais as dificuldades encontradas para o uso dos dispositivos?
- i) Quais as sugestões para a melhoria dos protocolos de descontaminação ora propostos?

A autora conduziu pesquisa qualitativa com profissionais da enfermagem, usuários de máscaras N95, na clínica da Unidade de Doenças Infecto-Parasitárias (UDIP) do Hospital Universitário Universitário João de Barros Barreto (Belém-Pará-Brasil), o qual atende pacientes do Sistema Único de Saúde (SUS),

O objetivo da pesquisa foi conhecer impressões dos profissionais de saúde sobre a proposta de descontaminação das máscaras N95 em intervalos de uso hospitalar. Um total de trinta profissionais de enfermagem responderam ao formulário de pesquisa a partir de entrevista direta com a pesquisadora. As entrevistas ocorreram na UDIP/HUJBB entre os dias 03 de abril e 29 de maio de 2023.

## 4. Capítulo - Resultados

### 4.1 Estudo da dose de irradiação UV-C nos diferentes dispositivos testados

A figura 4 mostra o gráfico da variação da dose de irradiação UV-C no dispositivo simplificado de desinfecção no intervalo de 1 a 15 minutos. Para essa determinação, a sonda do radiômetro foi posicionada no interior da cuba do dispositivo na altura em que estaria a máscara, em disposição paralela à fonte de luz UV-C, e a uma distância aproximada de 5cm das lâmpadas LED. A dose UV-C indicada pelo CDC<sup>9,10,29</sup> para descontaminação de máscaras N95, de  $1\text{J}/\text{cm}^2$ , foi atingida aos 2 minutos, enquanto a dose indicada por Ozog et al. (2020)<sup>41</sup>, de  $1,5\text{J}/\text{cm}^2$ , foi ultrapassada aos 4 minutos.

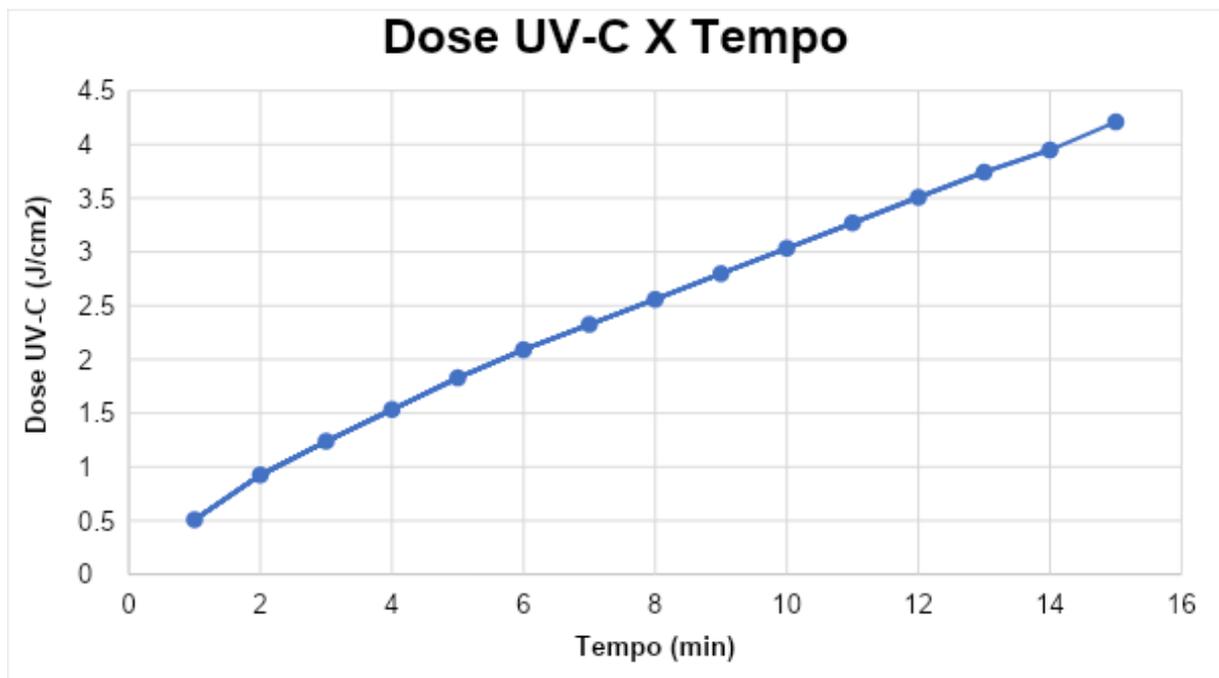


Gráfico III – medição da Dose UV-C, conforme o tempo de exposição, com a sonda do radiômetro posicionada a 5cm e paralelamente às lâmpadas, no interior da cuba do dispositivo simplificado de descontaminação.(Fonte, Autora, 2022)

Tabela III – medição da Dose UV-C, conforme o tempo de exposição, com a sonda do radiômetro posicionada a 5cm e paralelamente às lâmpadas, no interior da cuba do dispositivo simplificado de descontaminação.(Fonte, Autora, 2022)

tempo em minutos	Dose UV-C
1	0,509J/cm <sup>2</sup>
2	0,925J/cm <sup>2</sup>
3	1,239J/cm <sup>2</sup>
4	1,534J/cm <sup>2</sup>
5	1,829J/cm <sup>2</sup>
6	2,090J/cm <sup>2</sup>
7	2,326J/cm <sup>2</sup>
8	2,558J/cm <sup>2</sup>
9	2,798J/cm <sup>2</sup>
10	3,034J/cm <sup>2</sup>
11	3,270J/cm <sup>2</sup>
12	3,508J/cm <sup>2</sup>
13	3,742J/cm <sup>2</sup>
14	3,948J/cm <sup>2</sup>
15	4,210J/cm <sup>2</sup>

Os Dosímetros colorimétricos foram posicionados paralelamente à sonda do radiômetro eletrônico, nos diferentes tempos testados (Figura 22).

Na cabine de descontaminação, a mudança de coloração foi indicativa do alcance da dose ideal para inativação de *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (SARM),

observada em cerca de 1 (um) minuto de exposição. A dose para inativação de *Clostridium difficile* formador de esporos foi observada no intervalo de 1 (um) minuto e 30 (trinta) segundos.

No dispositivo simplificado de descontaminação, a mudança de coloração foi indicativa do alcance da dose ideal para inativação de *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (SARM), observada em cerca de 3 minutos de exposição. A dose para inativação de *Clostridium difficile* formador de esporos foi observada no intervalo de 4 minutos.

No dispositivo UV-C com sistema de rotação, a mudança de coloração foi indicativa do alcance da dose ideal para inativação de *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (SARM), observada em cerca de 2 (um) minuto de exposição. A dose para inativação de *Clostridium difficile* formador de esporos foi observada no intervalo de 3 (três) minutos e 30 (trinta) segundos.



Figura 31 - a) sonda UV-C de radiômetro eletrônico b) indicador colorimétrico (Fonte: Autora, 2022)

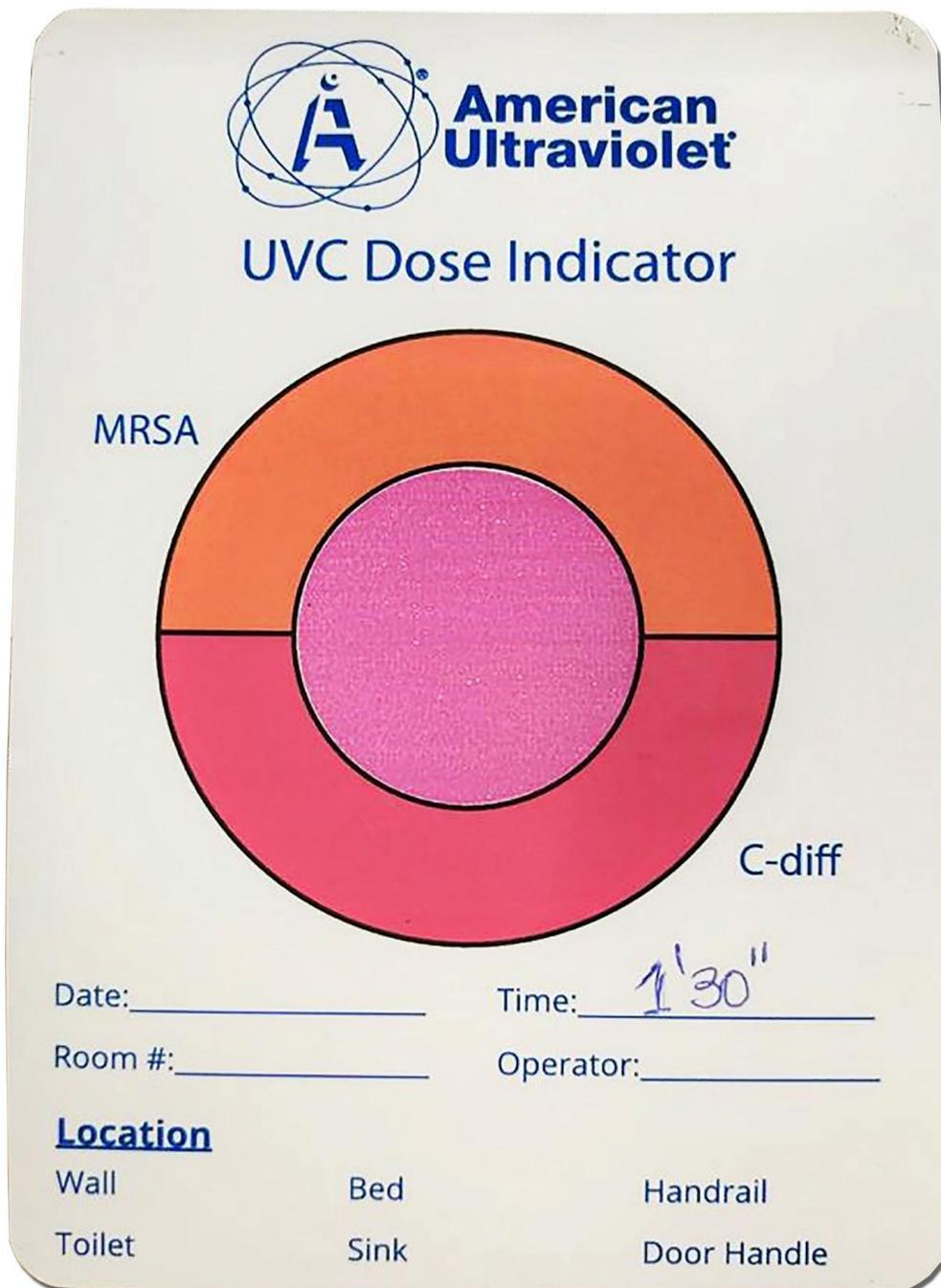


Figura 32 - Indicador colorimétrico de dose UV-C mostrando mudança de coloração indicativa do alcance da dose ideal para inativação de *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (SARM), observada em cerca de 3 minutos de exposição. A dose para inativação de *Clostridium difficile* formador de esporos foi observada no intervalo de 4 minutos. (Fonte: Autora, 2022)

Os mesmos ciclos de tratamento na cabine e dispositivo UV-C foram realizados com a sonda do radiômetro e com os dosímetros colorimétricos posicionados por trás da máscara. Esses testes indicaram que o material da máscara impede a penetração da luz, uma vez que a sonda não foi sensibilizada, assim como, não houve alteração de coloração dos dosímetros colorimétricos.

A partir dos resultados obtidos, foi elaborado o protocolo para utilização dos dispositivos de descontaminação UV-C. A Figura 24 apresenta as instruções afixadas no exterior da cuba do dispositivo simplificado para descontaminação por UV-C.



Figura 33 - Instrução de uso afixada no dispositivo simplificado para descontaminação UV-C (Fonte: Autora, 2022)

Além das instruções de uso dos dispositivos, o protocolo de descontaminação resultante deste estudo indicou a forma de armazenamento de máscaras N95 entre os usos

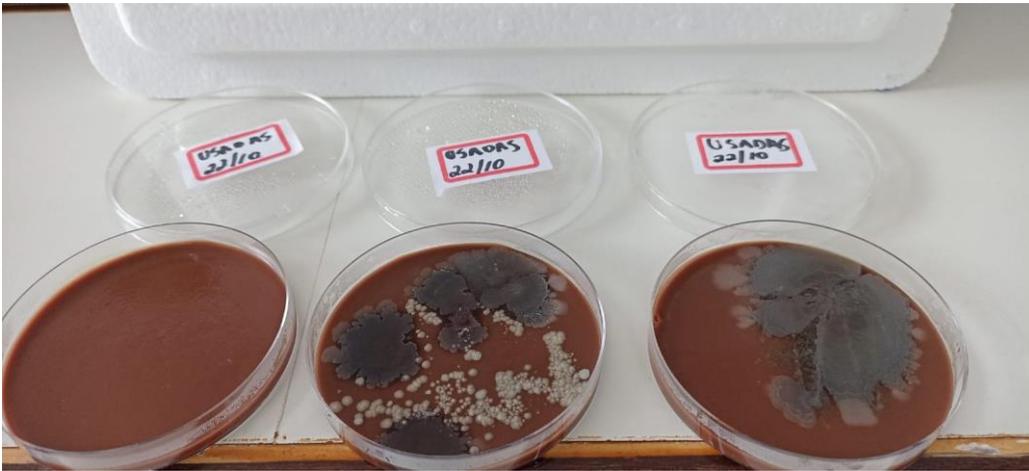
(Figura 8) e combinou a indicação de descontaminação da máscara com o hábito da lavagem das mãos, uma vez que o tempo de quatro minutos (necessário à descontaminação da máscara) deve ser aproveitado para a assepsia das mãos.

#### **4.1 Protocolo proposto para utilização do dispositivo simplificado de descontaminação UV-C**

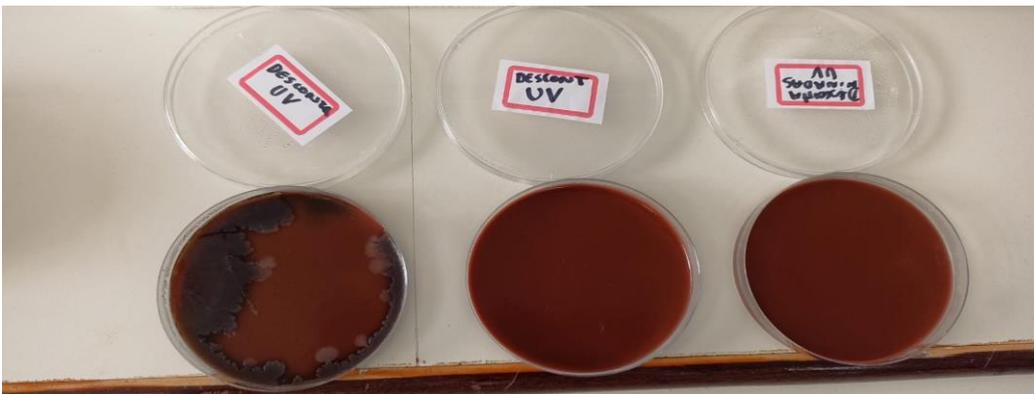
1. Antes da retirada da máscara N95, dirigir-se ao local onde está disponibilizado o dispositivo para descontaminação por UV-C.
2. Retirar e posicionar a máscara no prato com a convexidade voltada para cima (a convexidade da concha da máscara deve estar voltada para a lâmpada).
3. Higienizar as mãos. Manusear e posicionar a cuba do dispositivo UV-C sobre a máscara, de forma a cobri-la.
4. Ligar o dispositivo. O tempo de descontaminação de 4 (quatro) minutos é automático. O aparelho desligará automaticamente. Nesse tempo, pode ser realizada higiene cuidadosa das mãos.
5. Após o tempo estipulado de quatro minutos, remover e guardar a máscara N95 em embalagem adequada, identificada e respirável (Figura 8). Em caso de reutilização imediata posicioná-la no rosto.
6. Identificar o número ordinal do ciclo de descontaminação na etiqueta da embalagem da máscara (1º, 2º, 3º, 4º ou 5º).
7. Desinfetar, com álcool a 70% ou outro líquido germicida, o puxador e o interruptor do dispositivo.
8. As alças elásticas da máscara N95 devem ser higienizadas quimicamente pelo álcool 70%.
9. Idealmente, devem ser disponibilizadas unidades dos dispositivos UV-C em diferentes localizações do hospital (clínicas, unidades ou seções hospitalares).

## 4.2 Estudo Microbiológico

A)



B)



C)

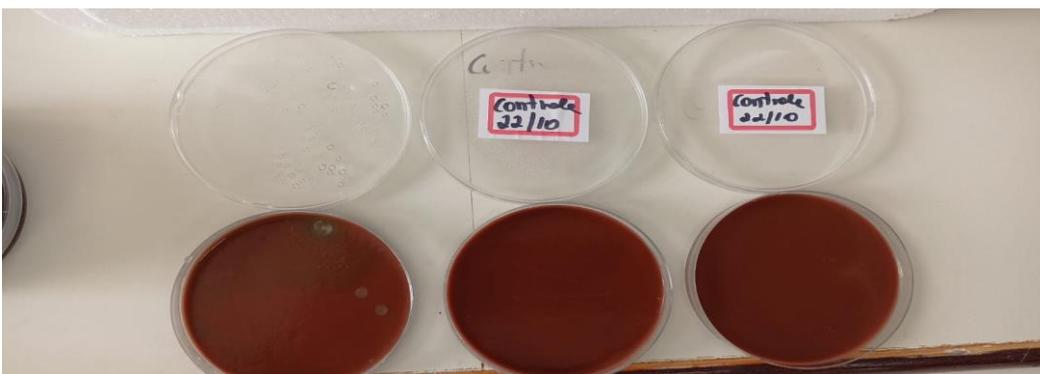


Figura 34 - Placas com meio de cultura Ágar chocolate após inoculando o material das máscaras N95 e mantidos em estufa a 40 graus centígrados.. A) grupo de máscaras usadas e não descontaminadas; B) grupo de máscaras usadas e descontaminadas por UV-C no dispositivo com sistema de rotação; C) grupo controle (máscaras novas em embalagem de fábrica). (Fonte: Autora, 2024).

A análise dos resultados do estudo microbiológico mostrou que não houve crescimento bacteriano no grupo de máscaras usadas e descontaminadas no dispositivo UV-C com sistema de rotação por cinco minutos. As máscaras usadas e não descontaminadas mostraram intenso crescimento bacteriano.

### 4.3 - Resultados da pesquisa qualitativa

Público entrevistado - atividade profissional

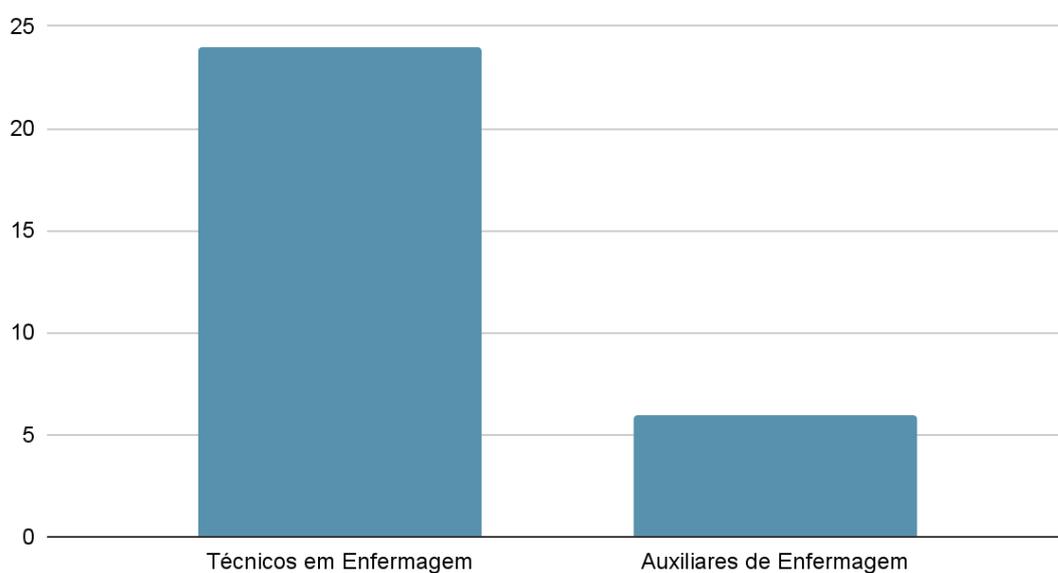


Gráfico IV – Atividade profissional do público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).

### Público entrevistado - quanto ao gênero

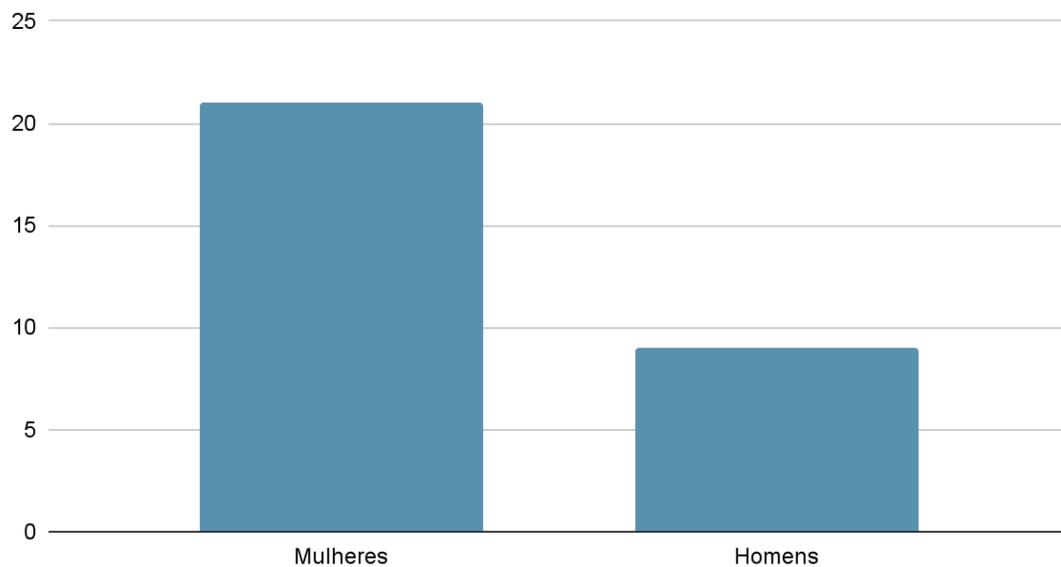


Gráfico V – Gênero do público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).

### Público entrevistado - quanto ao turno de trabalho

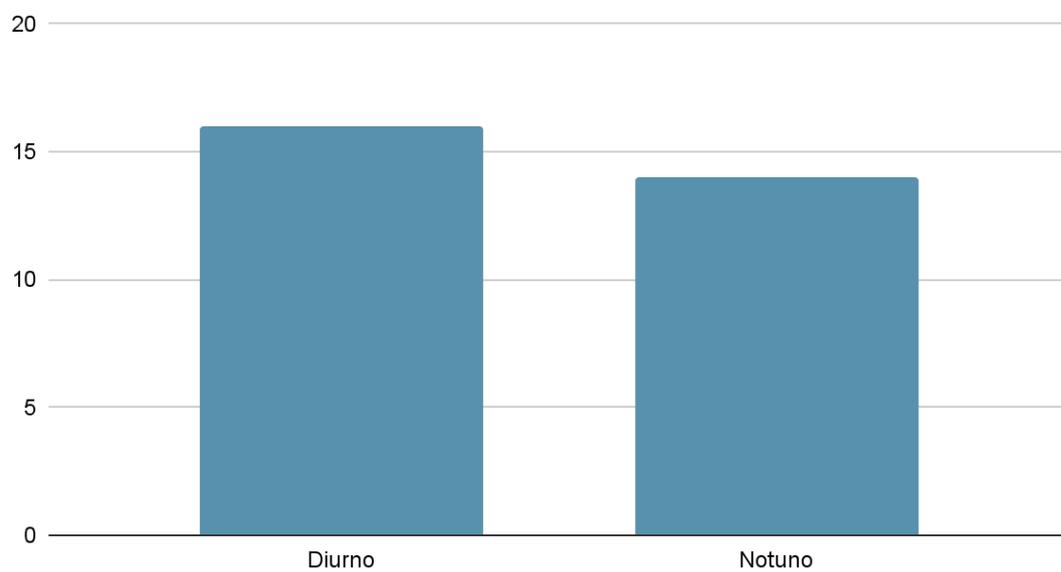


Gráfico VI – Turno de trabalho do público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023).

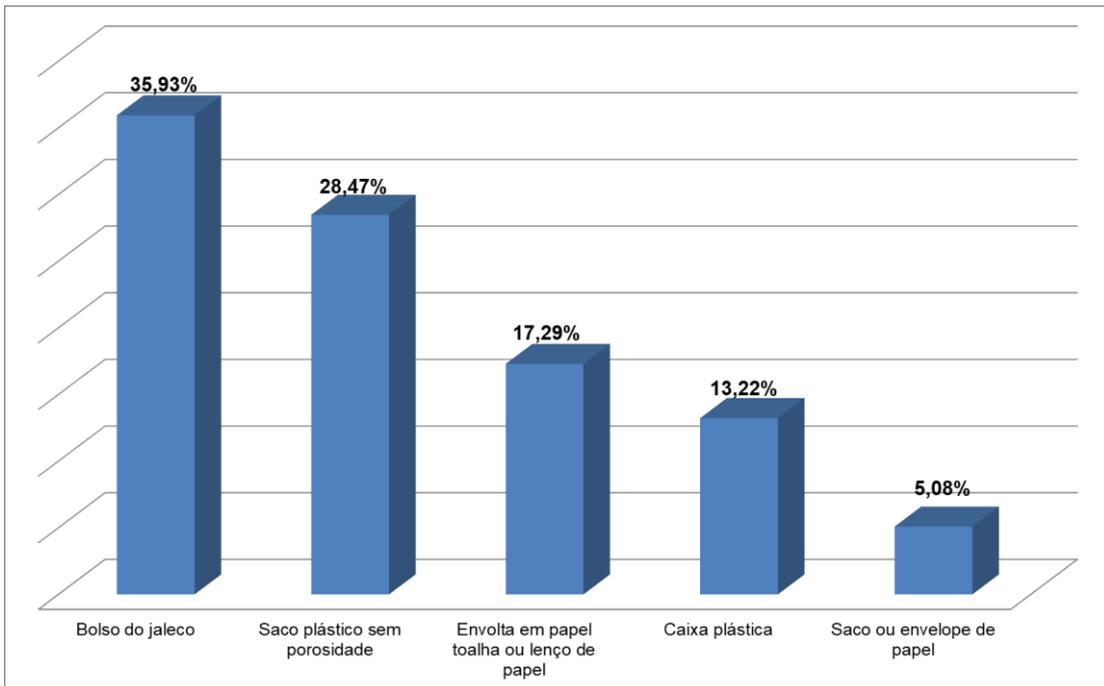


Gráfico VII – Formas de armazenamento das máscaras N95 (durante o turno de trabalho) pelo público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023)

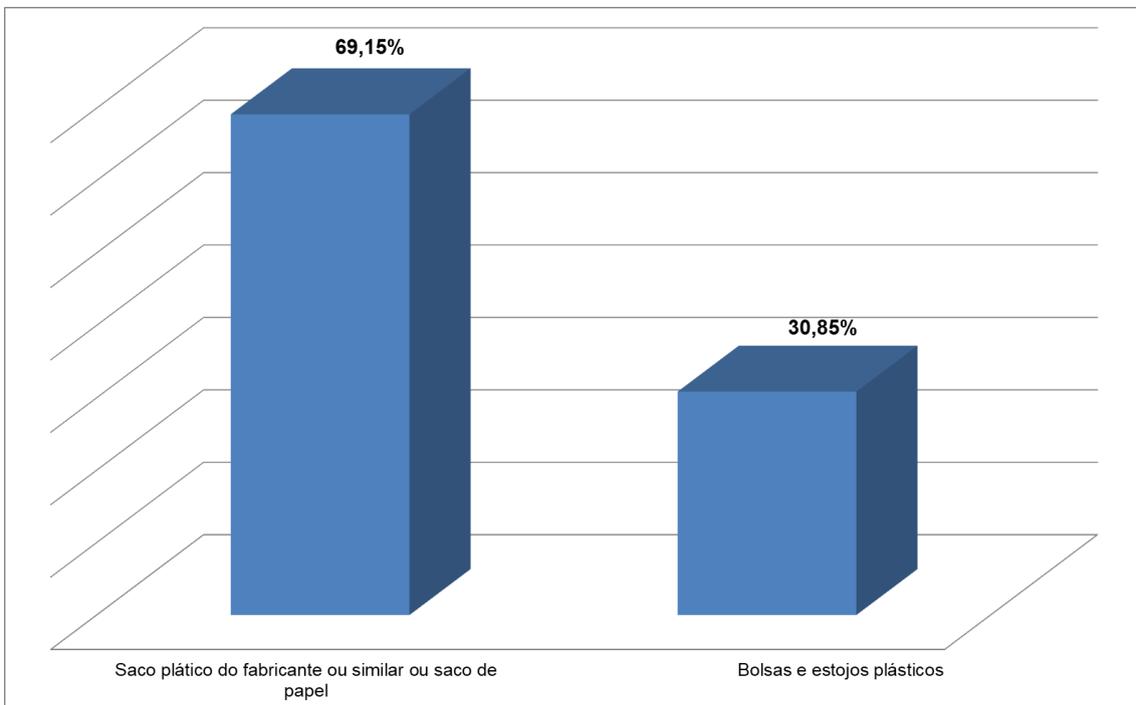


Gráfico VIII – Formas de armazenamento das máscaras N95 (entre os turnos de trabalho) pelo público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023)

### Momento do descarte da máscara N95

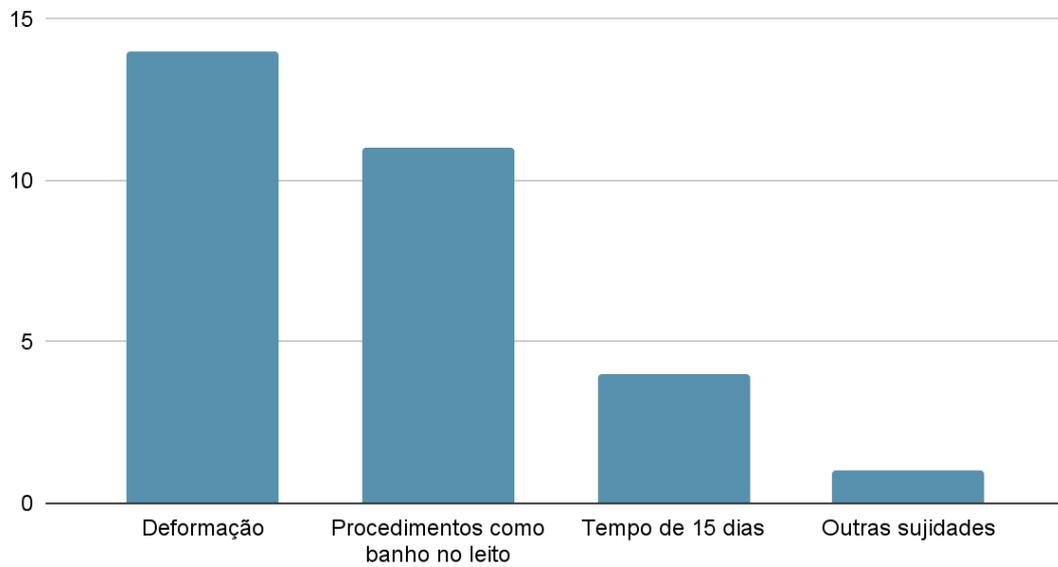


Gráfico IX – Razões para o descarte das máscaras N95 para o público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto.(Fonte, Autora, 2023)

### Impressão sobre o protocolo

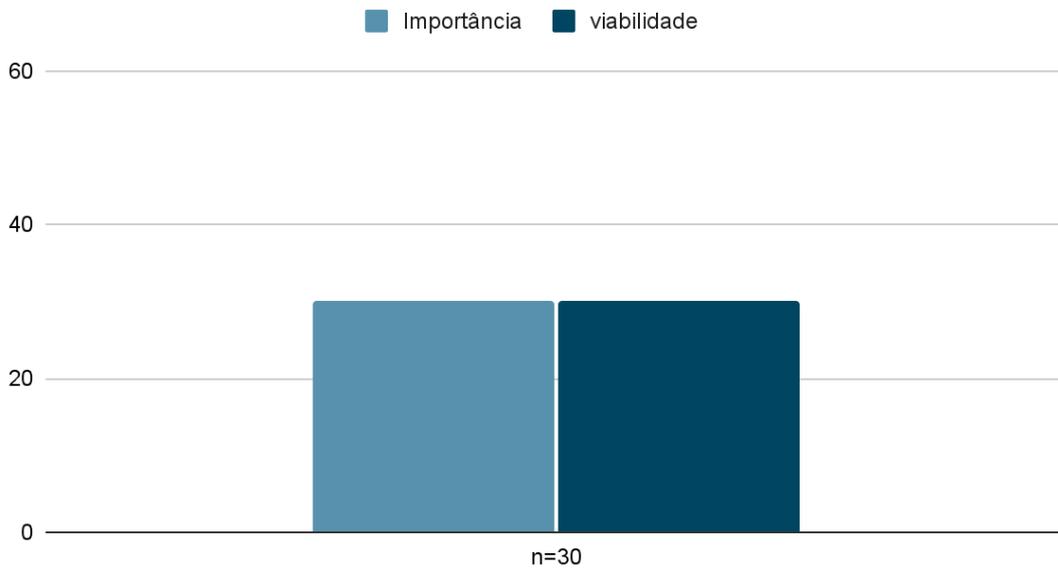


Gráfico X – Impressão do público entrevistado pela pesquisadora no Hospital Universitário João de Barros Barreto sobre o protocolo de descontaminação das máscaras N95, apresentado pela pesquisadora..(Fonte, Autora, 2023).

O interesse dos profissionais de Enfermagem no uso do dispositivo apresentado foi unânime. Todos afirmaram a importância e a viabilidade da descontaminação das máscaras N95 durante o turno de trabalho. A descontaminação individual e rápida das máscaras, segundo os entrevistados, seria adicionada com facilidade à rotina de trabalho. A utilização da cabine UV-C foi considerada menos viável e mais complexa pelos entrevistados, visto que máscaras precisam ser posicionadas nos cabides e que diferentes usuários usariam concomitantemente a cabine, o que obrigaria atenção para evitar mistura das máscaras descontaminadas.

Não foi possível precisar o número de vezes em que a máscara é removida durante o uso hospitalar, uma vez que esse número está relacionado com pausas para alimentação e higiene, entre outras. Na observação das máscaras que estavam em uso durante a entrevista, a pesquisadora observou a presença de marcas de identificação pessoal feitas por cada profissional no seu próprio equipamento, com caneta esferográfica, na face externa da máscara, correspondendo geralmente às iniciais do usuário. A forma mais comum de armazenamento da máscara entre os usos no mesmo plantão é diretamente no bolso do jaleco (n=24), seguido por saco plástico (n=2), papel toalha (n=2), caixa plástica (n=1) e envelope de papelão (n=1). Com relação ao armazenamento da máscara N95 entre os turnos, a maior parte dos entrevistados (n=23) respondeu que utiliza o saco plástico da embalagem do fabricante ou similar ou, ainda, saco de papel. O restante dos entrevistados (n=7) responderam que utilizam bolsas e estojos plásticos. A aceitação do protocolo de descontaminação pelo público-alvo da pesquisa deve-se ao conhecimento de que microorganismos residuais na superfície de máscaras N95 representam preocupação no manuseio, uso prolongado e reutilização das mesmas. Portanto, a descontaminação é importante para preservar a biossegurança (Coulliette et al, 2013; Casanova & Waka, 2013; Nikiforuk et al., 2017; Ahrenholz et al. 2018; Rule et al.,2018; Blachere et al, 2018).<sup>13,14,15,16,17,18</sup>

## **5. Capítulo - Discussão**

A proteção respiratória do trabalhador da saúde busca prevenir a inalação de partículas infecciosas aerossolizadas no ambiente clínico. Para tal proteção, são indicadas as máscaras N95, capazes de filtrar 94 a 95% das partículas com diâmetro superior a 0,3 µm. Em geral, as máscaras N95 são projetadas para uso único antes do descarte, uma vez

que vírus e outros microrganismos residuais, porventura depositados em sua superfície, representam preocupação para a biossegurança no caso de reutilização da máscara. Portanto, a descontaminação das máscaras após o uso é uma importante consideração em qualquer cenário de reutilização (Coulliette et al. 2013<sup>13</sup>; Casanova & Waka, 2013<sup>14</sup>; Nikiforuk et al. 2017<sup>15</sup>; Rule et al. 2018<sup>17</sup>; Ottawa, 2014<sup>56</sup>, Fischer et al. 2020<sup>82</sup>). Essa não é uma preocupação recente. Literatura extensiva sobre a descontaminação de máscaras N95 está disponível, detalhando os métodos testados. Entre eles: o óxido de etileno, o peróxido de hidrogênio vaporizado (VHP); a irradiação gama, o calor úmido e o calor seco (Darnell et al, 2004<sup>71</sup>; Viscusi et al. 2009<sup>72</sup>; Salter et al. 2010<sup>73</sup>; Bergman et al. 2010<sup>74</sup>; Fisher & Shaffer, 2010<sup>19</sup>; Viscusi et al. 2011<sup>70</sup>; Heimbuch et al. 2011<sup>75</sup>; Fisher et al. 2011<sup>26</sup>; Lore et al. 2011<sup>36</sup>; Lin et al. 2018<sup>21</sup>; Cheng et al. 2020<sup>77</sup>; Schwartz et al. 2020<sup>78</sup>; Sages, 2020<sup>64</sup>). No entanto, nenhum método estudado se mostrou tão promissor quanto a irradiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C).

A luz ultravioleta de ondas curtas (UV-C) é conhecida por sua propriedade antimicrobiana e tem sido usada no tratamento da água, do ar, e no processamento de alimentos. Os raios UV de 253,7 nm tem capacidade de destruir microrganismos como vírus, bactérias, fungos e protozoários. Sua capacidade de descontaminar materiais e superfícies torna seu uso interessante para ambientes de assistência à saúde. Dispositivos portáteis emissores de UV-C, que objetivam a desinfecção de objetos de uso compartilhado ou de equipamentos médicos e que possam contribuir para a biossegurança no ambiente de assistência à saúde, foram apresentados e testados em pesquisas científicas ( Petersson et al. 2014<sup>30</sup>; Corrêa et al, 2017<sup>31</sup>; Ziegenfuss et al, 2018<sup>51</sup>; Guridi et al, 2019<sup>33</sup>; Marcos et al, 2020<sup>52</sup>, Emig et al, 2020<sup>53</sup>). Nesse contexto, dada sua propriedade antimicrobiana, a irradiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C) pode descontaminar máscaras de filtro N95 (Mills et al. 2018<sup>29</sup>; Corrêa et al. 2017<sup>31</sup>; Health Quality Ontario, 2018<sup>32</sup>; Guridi et al. 2019<sup>33</sup>).

Os sistemas UV-C são relativamente rápidos e fáceis de usar, não deixam resíduos químicos, não afetam significativamente o desempenho de filtração ou a resistência ao fluxo de ar das máscaras em doses cumulativas de até 950 J/cm<sup>2</sup> (Viscusi et al., 2009<sup>72</sup>; Viscusi et al., 2011<sup>70</sup>; Lindsley et al, 2015<sup>28</sup>; Salter et al 2010<sup>73</sup>).

Conforme revisão da literatura, uma dose UV-C maior ou igual a 1J/cm<sup>2</sup> inativa vírus em máscaras N95 (Mills et al. 2018)<sup>29</sup>, inclusive similares ao SARS-CoV-2. Essa

mesma dose destrói esporos de *Bacillus subtilis* em N95 (Lin et al. 2017)<sup>22</sup> e é a aceita, pelo Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) dos Estados Unidos da América, como a mínima necessária para a descontaminação de máscaras (N95)<sup>9,10</sup>. A capacidade de filtração ou a vedação facial não são alteradas, quando máscaras N95 são submetidas a 10 ou 20 ciclos de exposição a essa dose de radiação UV-C (Heimbuch & Harnish, 2020)<sup>79</sup>. Foi relatado que, para descontaminação de máscaras N95 em modelos tipo concha, a irradiação UV-C na dose de 1,5J/cm<sup>2</sup>, aplicada em ambos os lados da máscara, é adequada para eliminação do SARS-CoV-2. Para maximizar a segurança do protocolo, uma vez que durante a descontaminação no dispositivo simplificado as alças não são estiradas e as áreas de sombreamento comprometem a incidência da luz UV-C, as alças elásticas podem exigir desinfecção adicional por método químico (álcool 70%) para maximizar a segurança do método (Ozog et al. 2020)<sup>41</sup>

Está demonstrado ainda que sistemas UV-C não afetam significativamente o desempenho de filtração ou a resistência ao fluxo de ar das máscaras N95, embora o número máximo de ciclos de desinfecção dependa do modelo da máscara (Viscusi et al, 2009<sup>72</sup>; Bergman et al, 2010<sup>74</sup>; Mills et al. 2018<sup>29</sup>; Heimbuch & Harnish (2020)<sup>79</sup>; Ozog et al. (2020)<sup>41</sup>. Segundo uma das maiores empresas produtoras de máscaras N95, sistemas de descontaminação por UV-C são seguros e, até a dose de 100J/cm<sup>2</sup>, não danificam o equipamento (Boletim Técnico, 2019)<sup>85</sup>.

Para a determinação da intensidade de radiação UV-C nos dispositivos propostos neste trabalho, foram empregados: radiômetro eletrônico calibrado, capaz de detectar a radiação UV no comprimento de onda de 254 nm; assim como dosímetros colorimétricos UV-C. Na posição indicada para as máscaras, desde que entre a luz e o material-alvo não existam obstáculos físicos, o radiômetro mostrou, no tempo 4 (quatro) minutos, o alcance da dose superior à indicada pelo CDC como adequada para descontaminação de máscaras N95. Na cabine UV-C, os indicadores colorimétricos mostraram, no tempo de 1 minuto e 30 segundos, mudança de coloração do amarelo (não tratado) para rosa, que indica a administração de dose suficiente para reduzir os esporos de *C. difficile*. No dispositivo simplificado UV-C, os indicadores colorimétricos mostraram o alcance da dose para reduzir os esporos de *C. difficile* aos 4 (quatro) minutos. De acordo com os resultados, os autores definiram como seguro o protocolo de descontaminação das máscaras N95 de 4 (quatro) minutos de irradiação para a face externa da máscara, que pode ser repetido para

a face interna da concha da máscara. Segundo Fisher & Shaffer<sup>19</sup>, quando a irradiação é aplicada no respirador N95, da camada mais externa para a mais interna, tem-se adequada descontaminação e limita-se a complexidade do método. Considerando que o protocolo para descontaminação prevê o uso da máscara descontaminada pelo mesmo usuário, a descontaminação da face interna pode ser dispensada, visto que representa microbiota do usuário.

A biossegurança representa o principal princípio que embasa a presente pesquisa, além da economicidade. Dessa forma, equipamentos sofisticados e caros, irrealizáveis para a saúde pública brasileira, embora eficientes, não foram considerados como solução. Além disso, realizar ou acompanhar a descontaminação da própria máscara promove maior conforto ao usuário, uma vez que a peça usada adquire um caráter pessoal (Heimbuch & Harnish (2020)<sup>79</sup>. As respostas à pesquisa qualitativa realizada com profissionais de saúde do Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUJBB) confirmaram essa impressão. Os entrevistados aprovaram o dispositivo para descontaminação individual das máscaras N95.

O dispositivo de descontaminação apresentado ou possíveis variações quando disponibilizados em hospitais para descontaminação de máscaras N95, contribuem para a biossegurança; para contornar a escassez observada em crises, para economicidade de recursos públicos e para a redução do lixo infectante. O dispositivo apresentado também pode ser aproveitado para descontaminação de objetos de uso compartilhado, que poderiam representar fonte potencial de transmissão de patógenos.

Neste trabalho, a autora apresenta uma opção de baixo custo e de fácil construção para descontaminação de máscaras N95, que eleva a biossegurança no ambiente hospitalar, além de contribuir para a economia de suprimentos e para a redução do lixo infectante. O dispositivo UV-C deve ser disponibilizado nas áreas comuns, com protocolo bem definido, inclusive quanto à forma de armazenamento das máscaras entre os usos e o número máximo de usos. O tempo de descontaminação da máscara, de quatro minutos, é suficiente para que o usuário faça, em paralelo, a lavagem das mãos. A associação dos atos de descontaminação da máscara e da lavagem das mãos coopera para a praticidade do protocolo proposto. A proposta pressupõe que os usuários utilizarão apenas as próprias máscaras, as quais não devem ter histórico de contaminação direta por secreções, exibição de sujidade, ou apresentar danos físicos que possam comprometer o ajuste e a função.

A economicidade representa um dos princípios que embasaram a presente pesquisa, além da biossegurança. Dessa forma, equipamentos sofisticados e caros, irrealistas para a saúde pública brasileira, embora eficientes, não foram considerados como solução. Além disso, os autores acreditam que realizar ou acompanhar a descontaminação da própria máscara promoveria maior conforto ao usuário, uma vez que a peça usada adquire um caráter pessoal. A indicação da embalagem para armazenamento das máscaras (em material que permite a lavagem e o uso de álcool 70%, com porosidades para aeração) e a sugestão de alternar duas ou mais máscaras, de forma a haver intervalo maior entre os usos das mesmas, podem elevar a segurança do protocolo, considerando que o tempo de repouso da máscara em local adequado contribui para a inativação de patógenos, porventura ainda presentes no material. O uso seguro das máscaras N95, com relação à contaminação microbiológica por contato, depende da obediência às recomendações de higiene no seu manuseio; no ato de vestir, retirar e armazenar a máscara entre tempos de uso. Apesar desses cuidados, deve-se limitar as utilizações da máscara N95 no ambiente hospitalar a não mais do que cinco dias ou turnos de trabalho. A indicação de limitar a 5 (cinco) o número de ciclos de descontaminação de cada máscara é concordante com a literatura. (Duarte et al., 2010)<sup>11</sup>

Dispositivos de descontaminação, como os apresentados neste trabalho, ou possíveis variações, como dimensões maiores, devem ser disponibilizadas em hospitais para descontaminação de máscaras N95, contribuindo para o melhor aproveitamento desses equipamentos de proteção; para contornar a escassez observada em crises, para economicidade de recursos públicos e para a redução do lixo hospitalar. A cabine também pode ser aproveitada para descontaminação de objetos de uso compartilhado, que poderiam representar fonte potencial de transmissão de patógenos. A montagem do dispositivo portátil para descontaminação de máscaras é de baixo custo, o que o torna acessível para hospitais da rede pública, inclusive com a possibilidade de ampliar o material-alvo a ser descontaminado, com modificações no seu formato ou dimensões, ou na potência da lâmpada UV, conforme conveniência e estudos adicionais.

No caso de intenção de reutilização, a máscara N95 usada deve ser inspecionada cuidadosamente, com relação à possível contaminação por contato, presença de sujidade ou danos físicos que possam comprometer seu ajuste e sua função. É também importante armazenar as máscaras em local fresco e seco nos intervalos entre cada uso, manter os

requisitos de higiene ao vestir, verificar a selagem facial da peça antes de cada uso e limitar as utilizações a não mais do que cinco vezes para margem de segurança adequada<sup>10</sup>. Microrganismos residuais na superfície de máscaras N95 comprometem a segurança ocupacional no caso de reutilização das máscaras. Portanto, a descontaminação é uma importante consideração de biossegurança em qualquer cenário de reutilização<sup>3,4,5,7</sup>. A irradiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C), dada sua propriedade antimicrobiana, pode descontaminar máscaras de filtro N95<sup>8,9</sup>.

Neste trabalho, a autora apresenta um equipamento para descontaminação de máscaras N95/PFF2, que traz, além de segurança na reutilização das máscaras, economia de suprimentos e redução do lixo contaminado. O dispositivo UV-C pode ser disponibilizado nas áreas comuns, com protocolo definido, inclusive quanto à forma de armazenamento das máscaras entre os usos. A proposta pressupõe que os usuários do equipamento utilizarão apenas as próprias máscaras, as quais não podem ter histórico de contaminação direta por secreções, exibir sujidade, ou apresentar danos físicos que possam comprometer o ajuste e a função. Os sistemas UV-C são relativamente rápidos e fáceis de usar, não deixam resíduos químicos, não afetam significativamente o desempenho de filtração ou a resistência ao fluxo de ar das máscaras<sup>16</sup>. O dispositivo de descontaminação apresentado e possíveis variações podem ser disponibilizadas em hospitais para descontaminação de máscaras N95, contribuindo para a segurança dos profissionais de saúde, no que diz respeito a infecções nosocomiais.

## **6. Capítulo - Conclusão**

1. Dispositivos para descontaminação de máscaras N95 por meio da luz ultravioleta de ondas-curtas (UV-C), nas doses indicadas na literatura científica, apresentam eficiência germicida, de forma a cooperar com a biossegurança nos hospitais, quando da reutilização das máscaras N95.
2. Os profissionais de saúde são receptivos à implementação do protocolo de descontaminação individual, simples, prático e seguro de máscaras N95, por meio da disponibilização do dispositivo em áreas comuns do hospital.
3. O protocolo para implementação da descontaminação UV-C deve prever o treinamento dos usuários para o uso seguro dos dispositivos.

4. No caso de descontaminação de máscaras N95, o protocolo para a utilização do dispositivo UV-C deve considerar a importância da capacitação dos usuários sobre os cuidados no uso e armazenamento da máscara, considerando a sobrevivência de microorganismos na malha filtrante.
5. Embalagens adequadas e respiráveis para o armazenamento das máscaras devem ser indicadas aos profissionais de saúde.
6. Os dispositivos UV-C, disponibilizados em áreas comuns do hospital, devem ser regularmente testados quanto à dose de irradiação e eficiência germicida.

## Referências

1. Bertolli Filho, Cláudio. História social da tuberculose e do tuberculoso: 1900-1950. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2001
2. MIRANDA, Aristóteles Guilliod de e ABREU JÚNIOR, José Maria de Castro. O Sanatório de Belém: a epopeia - ou via sacra? - de sua construção. *Rev Pan-Amaz Saude* [online]. 2016, vol.7, n.2 [citado 2022-08-05], pp.13-25.  
Disponível em:  
<[http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2176-62232016000200013&lng=pt&nrm=iso](http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2176-62232016000200013&lng=pt&nrm=iso)>. ISSN 2176-6215.  
<http://dx.doi.org/10.5123/S2176-62232016000200002>.
3. Leal, L. S., & Miranda, C. S. (2020). Sanatório Barros Barreto (Belém-Pa): arquitetura como testemunho científico. *Revista CPC*, 15(29), 124-150.  
<https://doi.org/10.11606/issn.1980-4466.v15i29p124-150>
4. Kim DK, Kang DH. UVC LED Irradiation Effectively Inactivates Aerosolized Viruses, Bacteria, and Fungi in a Chamber-Type Air Disinfection System. *Appl Environ Microbiol*. 2018;84(17):e00944-18. Published 2018 Aug 17.  
doi:10.1128/AEM.00944-18
5. Diel R, Nienhaus A, Witte P, Ziegler R. Protection of healthcare workers against transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in hospitals: a review of the evidence. *ERJ Open Res*. 2020;6(1):00317-2019. Published 2020 Mar 16.  
doi:10.1183/23120541.00317-2019
6. NIOSH. Recommended Guidance for Extended Use and Limited Reuse of N95 Filtering Facepiece Respirators in Healthcare Settings. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hcwcontrols/recommendedguidanceextuse.html>
7. Antonio Vladimir Vieira, Silvia Helena de Araujo Nicolai, José Damásio de Aquino, Eduardo Algranti e do colaborador Maurício Torloni. Programa de Proteção Respiratória. Fundacentro. 4ª Ed. 2016.  
[www.cdc.gov/niosh/topics/respirators/](http://www.cdc.gov/niosh/topics/respirators/) e a “Cartilha de Proteção Respiratória contra Agentes Biológicos para Trabalhadores da Saúde”, disponível em [www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br)

8. Lee, Shu-An ; Hwang, Dong-Chir ; Li, He-Yi ; Tsai, Chieh-Fu ; Chen, Chun-Wan ; Chen, Jen-Kun Affatato, Saverio. LEE, S.-A. *et al.* Particle Size-Selective Assessment of Protection of European Standard FFP Respirators and Surgical Masks against Particles-Tested with Human Subjects. **Journal Of Healthcare Engineering**, 2016. v. 2016.
9. CDC. Diretriz para precauções de isolamento: prevenção da transmissão de agentes infecciosos em ambientes de saúde em 2007. Atlanta, GA: JD Siegel e o Comitê Consultivo para Práticas de Controle de Infecção em Saúde, Centros de Controle e Prevenção de Doenças .; 2007. Disponível em [http://www.cdc.gov/ncidod/dhqp/gl\\_isolation.html](http://www.cdc.gov/ncidod/dhqp/gl_isolation.html) . Acessado em 24 de março de 2009. [ [PubMed](#) ] [ [Google Scholar](#) ]
10. CDC. Centre for disease control and prevention. Strategies for optimizing the supply of n95 respirators: Conventional capacity strategies., <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/respirators-strategy/conventional-capacity-strategies.html>; [Accessed March 28. 2020]
11. Duarte LR, Miola CE, Cavalcante NJ, Bammann RH. Estado de conservação de respiradores PFF-2 após uso na rotina hospitalar [Maintenance status of N95 respirator masks after use in a health care setting]. *Rev Esc Enferm USP*. 2010;44(4):1011–1016. doi:10.1590/s0080-62342010000400022
12. Fisher EM, Shaffer RE. Considerations for recommending extended use and limited reuse of filtering facepiece respirators in health care settings. *J Occup Environ Hyg*. 2014;11(8):D115-28. doi: 10.1080/15459624.2014.902954. PMID: 24628658; PMCID: PMC4610368.
13. Coulliette AD, Perry KA, Edwards JR, Noble-Wang JA. Persistence of the 2009 pandemic influenza A (H1N1) virus on N95 respirators. *Appl Environ Microbiol*. 2013;79(7):2148–2155. doi:10.1128/AEM.03850-12
14. Casanova, L., & Waka, B. (2013). Survival of a Surrogate Virus on N95 Respirator Material. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 34(12), 1334-1335. doi:10.1086/673994
15. Nikiforuk AM, Cutts TA, Theriault SS, Cook BWM. Challenge of Liquid Stressed Protective Materials and Environmental Persistence of Ebola Virus. *Sci Rep*. 2017;7(1):4388. Published 2017 Jun 29. doi:10.1038/s41598-017-04137-2

16. Ahrenholz SH, Brueck SE, Rule AM, et al. Assessment of environmental and surgical mask contamination at a student health center - 2012-2013 influenza season. *J Occup Environ Hyg.* 2018;15(9):664–675. doi:10.1080/15459624.2018.1486509
17. Rule AM, Apau O, Ahrenholz SH, et al. Healthcare personnel exposure in an emergency department during influenza season. *PLoS One.* 2018;13(8):e0203223. Published 2018 Aug 31. doi:10.1371/journal.pone.0203223
18. Blachere FM, Lindsley WG, McMillen CM, et al. Assessment of influenza virus exposure and recovery from contaminated surgical masks and N95 respirators. *J Virol Methods.* 2018;260:98–106. doi:10.1016/j.jviromet.2018.05.009
19. Edward Fisher and Ronald Shaffer. Survival of Bacteriophage MS2 on Filtering Facepiece Respirator Coupons. *Applied Biosafety.* Jun 2010.71-76.<http://doi.org/10.1177/153567601001500205>
20. Casanova L, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Coronavirus survival on healthcare personal protective equipment. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2010;31(5):560–561. doi:10.1086/652452
21. Lin TH, Tang FC, Hung PC, Hua ZC, Lai CY. Relative survival of *Bacillus subtilis* spores loaded on filtering facepiece respirators after five decontamination methods [published online ahead of print, 2018 May 31]. *Indoor Air.* 2018;10.1111/ina.12475. doi:10.1111/ina.12475
22. Lin, T.H., Tang, F.C., Chiang, C.H., Chang, C.P. and Lai, C.Y. (2017). Recovery of Bacteria in Filtering Facepiece Respirators and Effects of Artificial Saliva/Perspiration on Bacterial Survival and Performance of Respirators. *Aerosol Air Qual. Res.* 17: 187-197. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.03.0196>
23. Majchrzycka K, Okrasa M, Skóra J, Gutarowska B. Evaluation of the Survivability of Microorganisms Deposited on Filtering Respiratory Protective Devices under Varying Conditions of Humidity. *Int J Environ Res Public Health.* 2016;13(1):98. Published 2016 Jan 4. doi:10.3390/ijerph13010098
24. MAJCHRZYCKA, K., OKRASA, M., JACHOWICZ, A., SZULC, J., GUTAROWSKA, B., 2018, “Microbial Growth on Dust-Loaded Filtering Materials Used for the Protection of Respiratory Tract as a Factor Affecting

- Filtration Efficiency”. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v. 15, n. 1902; pp. doi:10.3390/ijerph15091902
25. Alex W H Chin, Julie T S Chu, Mahen R A Perera, Kenrie P Y Hui, Hui-Ling Yen, Michael C W Chan, Malik Peiris, \*Leo L M Poon. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe* 2020 Published Online April 2, 2020 [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
  26. Fisher EM, Williams JL, Shaffer RE. Evaluation of microwave steam bags for the decontamination of filtering facepiece respirators. *PLoS One*. 2011;6(4):e18585. Published 2011 Apr 15. doi:10.1371/journal.pone.0018585
  27. Heimbuch BK, Kinney K, Lumley AE, Harnish DA, Bergman M, Wander JD. Cleaning of filtering facepiece respirators contaminated with mucin and *Staphylococcus aureus*. *Am J Infect Control*. 2014;42(3):265–270. doi:10.1016/j.ajic.2013.09.014
  28. Lindsley WG, Martin SB Jr, Thewlis RE, Sarkisian K, Nwoko JO, Mead KR, Noti JD. Effects of Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) on N95 Respirator Filtration Performance and Structural Integrity. *J Occup Environ Hyg*. 2015;12(8):509-17. doi: 10.1080/15459624.2015.1018518. PMID: 25806411; PMCID: PMC4699414.
  29. Devin Mills BS, Delbert A. Harnish MS \*, Caryn Lawrence BS, Megan Sandoval-Powers BS, Brian K. Heimbuch MS. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American Journal of Infection Control* 46 (2018) e49-e55
  30. Petersson LP, Albrecht UV, Sedlacek L, Gemein S, Gebel J, Vonberg RP. Portable UV light as an alternative for decontamination. *Am J Infect Control*. 2014;42(12):1334–1336. doi:10.1016/j.ajic.2014.08.012
  31. Corrêa TQ, Blanco KC, Inada NM, et al. Manual Operated Ultraviolet Surface Decontamination for Healthcare Environments. *Photomed Laser Surg*. 2017;35(12):666–671. doi:10.1089/pho.2017.4298
  32. Health Quality Ontario . Portable Ultraviolet Light Surface-Disinfecting Devices for Prevention of Hospital-Acquired Infections: A Health Technology Assessment. *Ont Health Technol Assess Ser*. 2018;18(1):1–73. Published 2018 Feb 7.

33. Guridi A, Sevillano E, de la Fuente I, Mateo E, Eraso E, Quindós G. Disinfectant Activity of A Portable Ultraviolet C Equipment. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(23):4747. Published 2019 Nov 27. doi:10.3390/ijerph16234747
34. Santl-Temkiv, T. , Sikoparija, B., Maki, T., Carotenuto, F., Amato, P., Yao, M., E. Morris, C., Schnell, R., Jaenicke, R., Pöhlker , C., DeMott, PJ, Hill, TCJ & Huffman, JA, Bioaerosol field measurements: Challenges and perspectives in outdoor studies Bioaerosol field measurements: Challenges and perspectives in outdoor studies. *Aerosol Science and Technology*, 2019 , 27 p.
35. Vo E, Rengasamy S, Shaffer R. Development of a test system to evaluate procedures for decontamination of respirators containing viral droplets. *Appl Environ Microbiol*. 2009 Dec;75(23):7303-9. doi: 10.1128/AEM.00799-09. Epub 2009 Oct 2. PMID: 19801477; PMCID: PMC2786399
36. Lore MB, Heimbuch BK, Brown TL, Wander JD, Hinrichs SH. Effectiveness of three decontamination treatments against influenza virus applied to filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg*. 2011;56(1):92–101. doi:10.1093/annhyg/mer054
37. Rathnasinghe R, Karlicek RF Jr, Schotsaert M, Koffas M, Arduini BL, Jangra S, Wang B, Davis JL, Alnaggar M, Costa A, Vincent R, García-Sastre A, Vashishth D, Balchandani P. Scalable, effective, and rapid decontamination of SARS-CoV-2 contaminated N95 respirators using germicidal ultraviolet C (UVC) irradiation device. *Sci Rep*. 2021 Oct 7;11(1):19970. doi: 10.1038/s41598-021-99431-5. PMID: 34620951; PMCID: PMC8497543.
38. Harfoot R, Yung DBY, Anderson WA, Wild CEK, Coetzee N, Hernández LC, Lawley B, Pletzer D, Derraik JGB, Anderson YC, Quiñones-Mateu ME. Ultraviolet-C Irradiation, Heat, and Storage as Potential Methods of Inactivating SARS-CoV-2 and Bacterial Pathogens on Filtering Facepiece Respirators. *Pathogens*. 2022 Jan 10;11(1):83. doi: 10.3390/pathogens11010083. PMID: 35056031; PMCID: PMC8780977.
39. Huber T, Goldman O, Epstein AE, Stella G, Sakmar TP. Principles and practice for SARS-CoV-2 decontamination of N95 masks with UV-C. *Biophys J*. 2021 Jul 20;120(14):2927-2942. doi: 10.1016/j.bpj.2021.02.039. Epub 2021 Mar 4. PMID: 33675766; PMCID: PMC7929787.

40. Su A, Grist SM, Geldert A, Gopal A, Herr AE. Quantitative UV-C dose validation with photochromic indicators for informed N95 emergency decontamination. *PLoS One*. 2021 Jan 6;16(1):e0243554. doi: 10.1371/journal.pone.0243554. PMID: 33406084; PMCID: PMC7787392.
41. Ozog DM, Sexton JZ, Narla S, Pretto-Kernahan CD, Mirabelli C, Lim HW, et al. The effect of ultraviolet C radiation against different N95 respirators inoculated with SARSCoV-2. *Int J Infect Dis*. 2020 Nov; 100:224-229. doi: 10.1016/j.ijid.2020.08.077. Epub 2020 Sep 3. PMID: 32891736; PMCID: PMC7470719
42. F.R. de Gruijl (INVITED), Biological Action Spectra, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 91, Issue 1-3, 1 September 2000, Pages 57–63, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a033235>.
43. Kowalski, Wladyslaw. Ultraviolet Germicidal irradiation Handbook. Chaper. july 2009. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/278717381>. DOI 10.1007/978-3-642-01999-9\_2
44. Marie Lindblad, Eva Tano, Claes Lindahl, Fredrik Huss. Ultraviolet-C decontamination of a hospital room: Amount of UV light needed, *Burns*, Volume 46, Issue 4, 2020, Pages 842-849, ISSN 0305-4179, <https://doi.org/10.1016/j.burns.2019.10.004>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305417919300920>)
45. Christopher M. Walker and GwangPyo Ko. Effect of Ultraviolet Germicidal Irradiation on Viral Aerosols. *Environmental Science & Technology* 2007 41 (15), 5460-5465. DOI: 10.1021/es070056u
46. Tseng CC, Li CS. Inactivation of viruses on surfaces by ultraviolet germicidal irradiation. *J Occup Environ Hyg*. 2007 Jun;4(6):400-5. doi: 10.1080/15459620701329012. PMID: 17474029; PMCID: PMC7196698.
47. Kurt Bedell, BS;Adam H. Buchaklian; Stanley Perlman. Efficacy of an Automated Multiple Emitter Whole-Room Ultraviolet-C Disinfection System Against Coronaviruses MHV and MERS-CoV. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2016;37:598–599
48. Wallace RL, Quellette M, Jean J. Effect of UV-C light or hydrogen peroxide wipes on the inactivation of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*,

- Clostridium difficile* spores and norovirus surrogate. *Journal of Applied Microbiology*, May, 2019. doi:10.1111/jam.14308
49. Eickmann M, Gravemann U, Handke W, et al. Inactivation of three emerging viruses – severe acute respiratory syndrome coronavirus, Crimean–Congo haemorrhagic fever virus and Nipah virus – in platelet concentrates by ultraviolet C light and in plasma by methylene blue plus visible light. [publicado online antes da impressão, 2020 12 de janeiro]. *Vox Sang* . 2020; 10.1111 / vox.12888. doi: 10.1111 / vox.12888
50. Lemons AR, McClelland TL, Martin SB Jr, Lindsley WG, Green BJ. Inactivation of the multi-drug resistant pathogen *Candida auris* using ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) [published online ahead of print, 2020 Apr 10]. *J Hosp Infect*. 2020;S0195-6701(20)30186-9. doi:10.1016/j.jhin.2020.04.011
51. Steven J. Ziegenfuss, Amy F. Helgerson, Bethzayda Matos, Anne M. Dombroski-Brokman. Ultraviolet Light Efficacy for Decontamination of Safety Glasses. *Applied Biosafety*, 23(4), 242-248, December 2018.  
<https://doi.org/10.1177/1535676018786962>
52. Sebastian Marcos P, Hermes D, Sharman M. Comparative assessment of the effectiveness of three disinfection protocols for reducing bacterial contamination of stethoscopes. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2020;41(1):120–123. doi:10.1017/ice.2019.308
53. Emig E, Alhmidi H, Ng-Wong YK, Mana TSC, Cadnum JL, Donskey CJ. Efficacy of a novel ultraviolet light-emitting diode device for decontamination of shared pens in a health care setting. *Am J Infect Control*. 2020;48(1):100–102. doi:10.1016/j.ajic.2019.07.014
54. Heßling M, Hönes K, Vatter P, Lingenfelder C. Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation - review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS Hyg Infect Control*. 2020 May 14;15:Doc08. doi: 10.3205/dgkh000343. PMID: 32547908; PMCID: PMC7273323.
55. Talbot EA, Jensen P, Moffat HJ, Wells CD. Occupational risk from ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) lamps. *Int J Tuberc Lung Dis*. 2002;6(8):738–741.
56. Respiratory Precautions for Protection from Bioaerosols or Infectious Agents: A Review of the Clinical Effectiveness and Guidelines. Ottawa (ON): Canadian

- Agency for Drugs and Technologies in Health; 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK253856>
57. Bałazy A, Toivola M, Adhikari A, Sivasubramani SK, Reponen T, Grinshpun SA. Do N95 respirators provide 95% protection level against airborne viruses, and how adequate are surgical masks?. *Am J Infect Control*. 2006;34(2):51–57. doi:10.1016/j.ajic.2005.08.018
  58. [SILVA, J.M.](#) and [LIMA, J.A.S.](#). **Quatro abordagens para o movimento browniano**. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2007, vol.29, n.1, pp.25-35. ISSN 1806-9126. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000100007>.
  59. Gralton J, Tovey E, McLaws ML, Rawlinson WD. The role of particle size in aerosolised pathogen transmission: a review. *J Infect*. 2011;62(1):1–13. doi:10.1016/j.jinf.2010.11.010
  60. Knowlton SD, Boles CL, Perencevich EN, Diekema DJ, Nonnenmann MW; CDC Epicenters Program. Bioaerosol concentrations generated from toilet flushing in a hospital-based patient care setting. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2018;7:16. Published 2018 Jan 26. doi:10.1186/s13756-018-0301-9
  61. Prussin AJ 2nd, Belser JA, Bischoff W, Kelley ST, Lin K, Lindsley WG, Nshimiyimana JP, Schuit M, Wu Z, Bibby K, Marr LC. Viruses in the Built Environment (VIBE) meeting report. *Microbiome*. 2020 Jan 4;8(1):1. doi: 10.1186/s40168-019-0777-4. PMID: 31901242; PMCID: PMC6942371
  62. Fisher E, Rengasamy S, Viscusi D, Vo E, Shaffer R. Development of a test system to apply virus-containing particles to filtering facepiece respirators for the evaluation of decontamination procedures. *Appl Environ Microbiol*. 2009;75(6):1500–1507. doi:10.1128/AEM.01653-08
  63. Majchrzycka K, Okrasa M, Szulc J, Jachowicz A, Gutarowska B. Survival of Microorganisms on Nonwovens Used for the Construction of Filtering Facepiece Respirators. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(7):1154. Published 2019 Mar 31. doi:10.3390/ijerph16071154
  64. SAGES. N95 mask re-use strategies. 3 de abril. <https://www.sages.org/n-95-re-use-instructions/>
  65. Brady TM, Strauch AL, Almaguer CM, et al. Transfer of bacteriophage MS2 and fluorescein from N95 filtering facepiece respirators to hands: Measuring fomite

- potential. *J Occup Environ Hyg.* 2017;14(11):898–906. doi:10.1080/15459624.2017.1346799
66. Jachowicz A, Majchrzycka K, Szulc J, Okrasa M, Gutarowska B. Survival of Microorganisms on Filtering Respiratory Protective Devices Used at Agricultural Facilities. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(16):2819. Published 2019 Aug 7. doi:10.3390/ijerph16162819
67. Majchrzycka K, Okrasa M, Szulc J, Brycki B, Gutarowska B. Time-Dependent Antimicrobial Activity of Filtering Nonwovens with Gemini Surfactant-Based Biocides. *Molecules.* 2017;22(10):1620. Published 2017 Sep 27. doi:10.3390/molecules22101620
68. Quan FS, Rubino I, Lee SH, Koch B, Choi HJ. Universal and reusable virus deactivation system for respiratory protection. *Sci Rep.* 2017;7:39956. Published 2017 Jan 4. doi:10.1038
69. Lin, T.H., Tang, F.C., Chiang, C.H., Chang, C.P. and Lai, C.Y. (2017). Recovery of Bacteria in Filtering Facepiece Respirators and Effects of Artificial Saliva/Perspiration on Bacterial Survival and Performance of Respirators. *Aerosol Air Qual. Res.* 17: 187-197. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.03.0196>
70. Viscusi DJ, Palmiero A, Powell J, Shaffer R. Impact of Three Cycles of Decontamination Treatments on Filtering Facepiece Respirator Fit. *JISRP,* 2011;28(1):48–59./srep39956
71. Darnell, MER ; Subbarao, K .; Feinstone, SM ; Taylor, DR Coronavirus inactivation that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV . *J. Virol. Métodos* **2004** , 121 , 85 - 91 , DOI: 10.1016 / j.jviromet.2004.06.006 [ Crossref ], [ PubMed ], [ CAS ], Google Scholar
72. Viscusi DJ, Bergman MS, Eimer BC, Shaffer RE. Evaluation of five decontamination methods for filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg.* 2009;53(8):815–827. doi:10.1093/annhyg/mep070
73. W. B. Salter , K. Kinney , W. H. Wallace , A. E. Lumley , B. K. Heimbuch & J. D. Wander (2010) Analysis of Residual Chemicals on Filtering Facepiece Respirators After Decontamination, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 7:8, 437-445, DOI: 10.1080/15459624.2010.484794

74. Michael S. Bergman, Dennis J. Viscusi, Brian K. Heimbuch, Joseph D. Wander, Anthony R. Sambol, Ronald E. Shaffer. Evaluation of Multiple (3-Cycle) Decontamination Processing for Filtering Facepiece Respirators. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Volume 5, Issue 4 - 2010
75. Heimbuch BK, Wallace WH, Kinney K, et al. A pandemic influenza preparedness study: use of energetic methods to decontaminate filtering facepiece respirators contaminated with H1N1 aerosols and droplets. *Am J Infect Control*. 2011;39(1):e1-e9. doi:10.1016/j.ajic.2010.07.004
76. Cadnum JL, Li DF, Redmond SN, John AR, Pearlmutter B, Donskey CJ. Effectiveness of Ultraviolet-C Light and a High-Level Disinfection Cabinet for Decontamination of N95 Respirators. *Pathog Immun*. 2020;5(1):52-67. Published 2020 Apr 20. doi:10.20411/pai.v5i1.37260.
77. Cheng VCC, Wong S-C, Kwan GSW, Hui W-T, Yuen K-Y, Disinfection of N95 respirators by ionized hydrogen peroxide in pandemic coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2, *Journal of Hospital Infection*, <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.04.003>.
78. Schwartz A, Stiegel M, Greeson N. et al. Decontamination and reuse of N95 respirators with hydrogen peroxide vapor to address worldwide personal protective equipment shortages during the SARS-CoV-2 (COVID-19) pandemic. *Appl Biosaf*. doi: 10.1177/1535676020919932
79. Heimbuch BK, Harnish D. Research to Mitigate a Shortage of Respiratory Protection Devices During Public Health Emergencies. 2020; <https://www.ara.com/news/ara-research-mitigate-shortage-respiratory-protection-devices-during-public-health-emergencies>. Accessed 9 April 2020.
80. Carlos E. Rodriguez-Martinez, Monica P. Sossa-Briceño, Jorge A. Cortés, Decontamination and reuse of N95 filtering facemask respirators: A systematic review of the literature, *American Journal of Infection Control*, 2020, 1-13. ISSN 0196-6553, <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.07.004>.
81. Liao, Lei ; Xiao, Wang ; Zhao, Mervin ; Yu, Xuanze ; Wang, Haotian ; Wang, Qiqi ; Chu, Steven ; Cui, Yi. Can N95 Respirators Be Reused after Disinfection? How Many Times? *ACS Nano*, 2020. **Identificador: ISSN:** 1936-0851 ; **E-ISSN:** 1936-086X ; **DOI:** 10.1021/acsnano.0c03597 ; **PMCID:** 7202248

82. Fischer RJ, Morris DH, van Doremalen N, Sarchette S, Matson M, Bushmaker T, et al. Effectiveness of N95 Respirator Decontamination and Reuse against SARS-CoV-2 Virus. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(9):2253-2255. <https://dx.doi.org/10.3201/eid2609.201524>
83. Indermeet Kohli, Alexis B. Lyons, Bob Golding, Shanthi Narla, Angeli E. Torres, Angela Parks-Miller, David Ozog, Henry W. Lim, Iltefat H. Hamzavi. UVC Germicidal Units: Determination of Dose Received and Parameters to be Considered for N95 Respirator Decontamination and Reuse. *Photochemistry and Photobiology*, 2020, 96: 1083–1087
84. Purschke M, Elsamaloty M, Wilde JP, Starr N, Anderson RR, Farinelli WA, Sakamoto FH, Tung M, Tam J, Hesselink L, Baer TM. Construction and validation of UV-C decontamination cabinets for filtering facepiece respirators. *Appl Opt.* 2020 Sep 1;59(25):7585-7595. doi: 10.1364/AO.401602. PMID: 32902458.
85. 3M. Boletim técnico RESPIRADOR DESCARTÁVEL TIPO CONCHA – 8801H PFF-2(S) C.A.: 14209. Disponível em [https://www.3m.com.br/3M/pt\\_BR/3m-do-brasil/todos-os-produtos-3m-do-brasil/~Respirador-Descart%C3%A1vel-Concha-3M-8801/?N=5002385+3294086657&rt=rud](https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/3m-do-brasil/todos-os-produtos-3m-do-brasil/~Respirador-Descart%C3%A1vel-Concha-3M-8801/?N=5002385+3294086657&rt=rud). Acesso em 28/10/2019

-