

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENFERMAGEM**

**EDSON WANDERLEY DA SILVA
FRANCILEIDE FERREIRA PEIXOTO
JULLYA KELLEN CUSTÓDIO TORRES**

**QUIMIOMETRIA UTILIZANDO ESPECTROS GAMA PARA A
AVALIAÇÃO DE PROTETORES SEMIFACIAIS SUBMETIDOS À
RADIAÇÃO UVC**

RECIFE/2025

**EDSON WANDERLEY DA SILVA
FRANCILEIDE FERREIRA PEIXOTO
JULLYA KELLEN CUSTÓDIO TORRES**

**QUIMIOMETRIA UTILIZANDO ESPECTROS GAMA PARA A
AVALIAÇÃO DE PROTETORES SEMIFACIAIS SUBMETIDOS À
RADIAÇÃO UVC**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Disciplina TCC II do
Curso de Bacharelado em Enfermagem
do Centro Universitário Brasileiro -
UNIBRA, como parte dos requisitos
para conclusão do curso.

Orientador: Prof. Me. Hugo Christian
De Oliveira Felix
Coorientador: Prof. Dr. Elvis Joacir De
França

RECIFE,
2025

**EDSON WANDERLEY DA SILVA
FRANCILEIDE FERREIRA PEIXOTO
JULLYA KELLEN CUSTÓDIO TORRES**

**QUIMIOMETRIA UTILIZANDO ESPECTROS GAMA PARA A
AVALIAÇÃO DE PROTETORES SEMIFACIAIS SUBMETIDOS À
RADIAÇÃO UVC**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Disciplina TCC II do Curso de Enfermagem do Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Examinadores:

Prof. Me. Hugo Christian de Oliveira Felix (Orientador)

Andriu dos Santos Catena - Dr. em Biologia Aplicada à Saúde

Rafael Lucas Barros Abreu Silva – Mestrando em Ciências energéticas e nucleares

Nota: _____

Data: ____/____/____

Com muita gratidão e respeito, dedicamos este estudo às vítimas da COVID-19, cujas vidas foram impactadas profundamente por uma crise global sem precedentes. Em meio ao caos, a escassez de recursos essenciais, como protetores faciais, destacou nossa vulnerabilidade diante da magnitude de um desafio como este. Esses momentos difíceis mostram a importância da ciência e da pesquisa para enfrentar tais adversidades.

A busca incessante por métodos de descontaminação eficazes, como os estudos realizados durante a pandemia, simboliza não apenas um compromisso com a preservação da vida, mas também um aprendizado essencial para nos prepararmos melhor para possíveis desafios futuros.

Cada esforço realizado por cientistas, profissionais de saúde e voluntários reflete nossa capacidade de adaptação e resiliência, lembrando-nos que a dedicação à ciência é uma homenagem às vítimas e uma esperança para as gerações que virão.

Que esta dedicação inspire reflexões sobre o valor da solidariedade, da responsabilidade coletiva e da importância de investir continuamente na ciência e na saúde pública, para que possamos enfrentar juntos qualquer nova pandemia.

Para as vidas que se foram, nossas lembranças. Para o futuro, nossa determinação!

AGRADECIMENTOS

Com imenso carinho e gratidão, dedicamos este reconhecimento àqueles que estiveram ao nosso lado ao longo desta jornada.

Aos orientadores Ms. Hugo Felix e Dr. Elvis França, cuja sabedoria e dedicação foram fundamentais para o nosso crescimento.

Aos familiares que sempre foram nossa base inabalável: Sr. Valdomiro, Dona Luzinete, Michelly Wanderley, Rafael Barros e Dr. Elenilson Pereira.

Aos amigos Enf. Janaina Sobral, Dr^a. Lindomar Souza, Dr^a. Luciana Herculano e Dr^a. Giselda Neves, por compartilharem apoio e confiança nos momentos mais desafiadores.

À nossa Coordenadora Wanuska Portugal, cuja orientação e presença nos guiaram com firmeza e inspiração.

Por fim, aos órgãos de fomento CNPq, FACEPE, CNEN, FINEP pelo apoio financeiro e ao CRCN/NE por disponibilizar o centro onde foi realizada a pesquisa.

Com coragem, amor e incontáveis sacrifícios, cada um de vocês fez parte desta caminhada, nos fortalecendo com gestos de generosidade e palavras de encorajamento, mesmo quando o caminho parecia distante. Cada conquista nossa carrega a marca da esperança que vocês depositaram em nós. Hoje, ao celebrar esta conquista, reconhecemos que ela não é apenas de nós três, mas de todos que acreditaram e nos impulsionaram.

Este diploma é nosso!

“Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido. Agora é hora de compreender mais para temer menos”.

Marie Curie

RESUMO

A pandemia de COVID-19 desencadeou uma síndrome respiratória aguda grave, exigindo a adoção de medidas protetivas, como o uso de protetores respiratórios. Devido à alta demanda por esses dispositivos, tornou-se necessário buscar métodos de desinfecção que não comprometessem a eficácia do tecido não tecido (TNT), sendo a radiação ultravioleta C uma alternativa promissora. Assim, este estudo teve como objetivo aplicar uma ferramenta quimiométrica utilizando a radiação gama para detectar alterações físicas no TNT de respiradores do tipo PFF2 submetidos a ciclos crescentes de descontaminação com UVC. A pesquisa foi realizada no Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, utilizando 44 amostras expostas ao UVC e 16 amostras como grupo controle. As análises foram conduzidas com um feixe de radiação gama de baixíssima intensidade, oriundo de uma fonte puntiforme de Európio-152 (atividade de 3 kBq, referência: 11/2006), colimado por um castelo de chumbo com abertura de 3 mm. As amostras foram posicionadas entre a fonte puntiforme e o detector em lâminas microscópicas, foram submetidas a radioatividades durante 2.000 s em 8.196 canais. Os espectros obtidos foram organizados em planilhas para a aplicação da Análise por Componentes Principais – PCA no software The Unscrambler, utilizando até 10 componentes principais rotacionados por Varimax. A análise foi segmentada nos canais 50 a 1500, 1501 a 3000 e 3001 a 4951. Desse modo, os resultados demonstraram que o método foi eficiente na detecção de alterações físicas no material, destacando o modelo 2 como o mais resistente ao processo de descontaminação com radiação UVC.

Palavras-Chaves: SARS-CoV-2, Radiação UVC, Tecido não tecido, Quimiometria, Protetor respiratório PFF2.

CHEMOMETRICS USING GAMMA SPECTRA FOR THE EVALUATION OF HALF-FACIAL PROTECTORS SUBJECTED TO UVC RADIATION

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic triggered severe acute respiratory syndrome, requiring protective measures such as the use of respiratory protectors. Due to the high demand for these devices, it became necessary to seek disinfection methods that did not compromise the effectiveness of nonwoven fabrics (TNT), with UVC radiation being a promising alternative. Therefore, this study aimed to apply a chemometric tool using gamma radiation to detect physical changes in the TNT of PFF2 respirators subjected to increasing UVC decontamination cycles. The research was conducted at the Northeast Regional Center for Nuclear Sciences, using (n=60) respirators subjected to UVC. The analyses were conducted with a very low-intensity gamma radiation beam from a Europium-152 point source (3 kBq activity, reference: 11/2006), collimated by a lead castle with a 3 mm aperture. The samples were positioned between the point source and the detector on microscope slides, and the radioactivity that passed through was quantified for 2,000 s in 8,196 channels. The obtained spectra were organized into spreadsheets for application of Principal Component Analysis (PCA) in The Unscrambler software, using up to 10 principal components rotated by Varimax. The analysis was segmented into channels 50 to 1,500, 1,501 to 3,000, and 3,001 to 4,951. Thus, the results demonstrated that the method was effective in detecting physical changes in the material, highlighting model 2 as the most resistant to the UVC decontamination process.

Keywords: SARS-CoV-2, UVC radiation, Non-woven fabric, Chemometrics, Respiratory protector PFF2.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Modelos de protetores semifaciais utilizados na pesquisa.....	15
FIGURA 2 – Equipamento UVCLEAN e seus principais componentes.....	16
FIGURA 3 – Técnica utilizada para o processamento das amostras.....	17
FIGURA 4 – Atenuação com radiação gama.....	19
FIGURA 5 – Dendrograma modelo 1, camada externa.....	20
FIGURA 6 – Dendrograma modelo 2, camada externa.....	21
FIGURA 7 – Dendrograma modelo 1, camada filtro.....	22
FIGURA 8 – Dendrograma modelo 2, camada filtro.....	23
FIGURA 9 – Dendrograma modelo 1, camada interna.....	24
FIGURA 10 – Dendrograma modelo 2, camada interna.....	25
FIGURA 11 – Dendrograma para análise de modelo alternativo de protetor respiratório.....	27

LISTA DE TABELA

TABELA 1 – Estatística percentual referente aos resultados obtidos nos dendrogramas.....	26
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CRCN/NE – Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste

E - Externo

EGAR – Espectrometria Gama de Alta Resolução

EPI – Equipamento de proteção Individual

Eu-152 – Európio 125

F - Filtro

Fotoelétrico - emissão de elétrons por uma superfície quando exposta a uma radiação eletromagnética com uma certa frequência

Hidrofóbico – Substância que não absorve água

I - Interno

Ionização – Processo químico no qual átomos nêutrons adquirem carga elétrica

KBq - quilobecquerel

LECC – Laboratório Emergencial de Combate a COVID-19

Lockdown - Maneira restritiva obrigatória que impede a circulação em lugares públicos

Nm - nanômetro

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial da Saúde

PFF2 – Peça Facial Filtrante 2

Polipropileno - Polímero termoplástico derivado do propileno ou propeno

Puntiforme – Que tem forma ou aparência de ponto

Quimiométrica - Área da ciência que aplica métodos matemáticos e estatísticos para extrair informações úteis de dados químicos

SARS-CoV-2 - coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2

TNT – Tecido não tecido

Tosse não produtiva - É aquela que não produz muco ou secreção ao tossir

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UV – Radiação Ultravioleta

UVC – Radiação ultravioleta no espectro eletromagnético, especificamente na faixa de comprimentos de onda entre 100 e 280 nanômetros

W - Watt

µm - Micrômetros

TERMOS TÉCNICOS

Asséptica – Isento de germes

Cefaleia – Dor de cabeça

Dispneia – Sensação de falta de ar

Mialgia – Dor muscular

Pirexia - Febre

SUMÁRIO

1 Introdução.....	14
2 Material e métodos.....	15
2.1 <i>Material do estudo</i>	<i>15</i>
2.1.1 <i>Ficha técnica protetor semifacial modelo 1.....</i>	<i>16</i>
2.1.2 <i>Ficha técnica protetor semifacial modelo 2.....</i>	<i>16</i>
2.2 <i>Descontaminação por radiação ultravioleta C (UVC).....</i>	<i>16</i>
2.3 <i>Preparação de amostras para análise.....</i>	<i>17</i>
2.4 <i>Obtenção dos espectros</i>	<i>18</i>
2.5 <i>Análise quimiométrica.....</i>	<i>19</i>
3 Resultados	20
3.1 <i>Camada externa (E).....</i>	<i>20</i>
3.2 <i>Camada filtro (F).....</i>	<i>21</i>
3.3 <i>Camada interna (I).....</i>	<i>23</i>
3.4 <i>Estatística percentual referente aos dendrogramas.....</i>	<i>25</i>
4 Discussão.....	26
5 Conclusões.....	27
6 Referências.....	28

1. Introdução

O surto do novo coronavírus 2 (*SARS-CoV-2*), descoberto em Wuhan, na China, em dezembro de 2019, espalhou-se para os demais países, tomando proporções a nível global e dando início a uma nova pandemia¹. O coronavírus é responsável por causar uma Síndrome Respiratória Aguda Grave, caracterizada pelos sintomas de tosse seca, febre, cefaleia, mialgia e dispnéia. A transmissão ocorre, predominantemente, por meio de gotículas e aerossóis². De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), infecções respiratórias são transmitidas por meio de partículas expelidas pela tosse, espirro e fala, com tamanhos variando de 5 a 10 µm de diâmetro³.

No Brasil, a taxa de mortalidade por COVID-19 é de 340,9 por 100 mil habitantes, evidenciando sua gravidade⁴. Com o intuito de reduzir a taxa de infecção pelo coronavírus, uma série de medidas preventivas foram indicadas pela OMS e pela comunidade científica durante o auge da pandemia, sendo adotadas por quase todos os países. Tais estratégias incluíram distanciamento social, restrição de circulação e, em alguns casos, *lockdown*. Dentre as estratégias, o uso de máscaras teve adoção quase universal, com opções variando entre modelos caseiros confeccionados em tecido, máscaras cirúrgicas e máscaras especiais como o modelo Peças Filtrantes com Filtro tipo 2 (PFF2/N95)⁵.

Os modelos de protetores respiratórios, como a PFF2, podem ser confeccionados de um material de tecido-não-tecido (TNT), construído por meio de uma liga de fibras e um polímero (polipropileno). É obrigatório que sejam constituídos de uma camada interna, um elemento filtrante, e por último uma camada interna, contendo resistência à penetração de partículas ou fluidos que são transportados pelo ar⁶. Este Equipamento de Proteção Individual (EPI) possui certificação de capacidade de proteção de 94% contra partículas sólidas e à base de água com tamanho superior a 0,3 µm, sendo, portanto, o protetor respiratório mais eficiente para prevenir a contaminação com o vírus⁷. Dessa forma, o uso deste EPI, passou a ser adotado como principal forma de proteção contra o vírus, incluindo, não apenas profissionais da saúde, mas, também, a população, sendo assim, uma estratégia de controle da transmissão do vírus. A busca exacerbada por este protetor respiratório ocasionou uma estocagem irracional e uma escassez global deste insumo, principalmente em ambientes hospitalares, tornando necessário buscar métodos que possibilitem o reuso de máscaras⁸.

Diante das dificuldades causadas pelo desabastecimento desse EPI, foram implementadas restrições de uso para a população, priorizando o acesso aos protetores respiratórios PFF2 para os profissionais de saúde em atividade, além do desenvolvimento de métodos de descontaminação. O reuso de protetores faciais tem o objetivo de inativar os organismos presentes, como o vírus causador da COVID-19, sem danificar as camadas de filtragem, o ajuste do respirador e a segurança para o usuário⁹. Isso gerou uma necessidade em saber se os protetores faciais tipo PFF2 podiam ser desinfetados de modo eficiente e seguro.

Vários estudos testaram métodos como o uso de soluções alcoólicas e soluções à base de cloro, que resultaram numa redução da eficiência de filtração dos protetores. Enquanto o uso de vapor de água com pressão também não teve sucesso, pois o polipropileno é hidrofóbico (repele a água) e a descontaminação por plasma também, causam a saturação das fibras e reduzem sua filtração¹⁰. Métodos usando calor são contraindicados para máscaras que contêm plástico^{9,11}. Enquanto, os métodos como a Radiação Ultravioleta C (UVC) foi um dos mais testados, e indicado para descontaminação, contudo foi necessário a realização de análise das modificações físicas^{12,13,14}.

A utilização de UV tem sido estudada por diversos pesquisadores, uma técnica que é utilizada ao longo de 40 anos em desinfecção de água, ar, laboratórios, produtos farmacêuticos e superfícies em geral, devido à sua capacidade de inativar microrganismos, limitar sua capacidade de crescimento e multiplicação. Vale salientar que a luz UV quando denominada de germicida refere-se especificamente à energia luminosa UVC, com comprimento de ondas de 200 a 280 nm, sendo reconhecida como a única capaz de inativar vírus e bactérias de forma confiável^{15,16}. O uso da luz UVC em protetores respiratórios apresentou-se como uma alternativa eficiente e de baixo custo^{17,18,19}. Devido às limitações das técnicas disponíveis para análise de modificações físicas em EPIs, o Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE) desenvolveu uma ferramenta quimiométrica para a detecção de mudanças físicas no material dos protetores respiratórios, utilizando a técnica por espectrometria da radiação gama de baixíssima intensidade (menor que 1 kBq cm⁻²)^{20,21}, para avaliar os impactos da descontaminação na integridade do material dos protetores.

A radiação UVC pode atravessar grandes espessuras de materiais permitindo a interação com o produto exposto, possibilitando a penetração da radiação em todas as camadas que compõe o EPI. Devido a probabilidade de tal interação está associada à influência das partículas de radiação ao passar pela área correspondente a um centro de interação do material, como núcleos, elétrons ou átomos. No caso da radiação gama, os principais mecanismos de interação incluem o efeito fotoelétrico, o efeito Compton e a produção de pares. Esses processos de ionização podem ocorrer de forma simultânea ao interagirem com o mesmo material e espessura, sendo que cada um acontece em diferentes intervalos de energia, dependendo da energia dos fótons e da densidade de átomos no material²². Possibilitando identificar grupos de amostras adulteradas, evidenciando, por exemplo, alterações nas propriedades físicas e químicas do material²³. Com isso, foi empregada a interação da matéria com a radiação gama para averiguar se houve mudanças na malha das

camadas internas, externas e no filtro dos protetores respiratórios testados. Uma fonte externa de radiação gama pode ser empregada nesse tipo de configuração instrumental.

Nesse sentido, entre os mais variados desafios enfrentados por gestores e suas equipes, infecções hospitalares, como no caso da COVID-19, representam um dos principais desafios atuais, impactando nos recursos financeiros, no atendimento e na qualidade de saúde dos envolvidos. Além da relevância hospitalar, o estudo desempenha um papel significativo nos esforços em direção ao desenvolvimento sustentável. Assim, contribui com um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12, mais especificamente com a meta 12.5, relacionada à redução substancial da geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso²⁴. Desse modo, o presente estudo tem o objetivo de aplicar uma ferramenta quimiométrica utilizando a radiação gama para detectar alterações físicas no TNT de respiradores PFF2 submetidos a ciclos crescentes de descontaminação por radiação ultravioleta C.

2. Material e Métodos

Essa pesquisa é considerada um estudo experimental analítico, de natureza aplicada, caracterizado pela busca de soluções práticas para problemas reais, por meio de experimentação controlada e análise criteriosa. O experimento foi conduzido nas instalações do Laboratório Emergencial de Combate à COVID-19 (LECC), situado no CRCN/NE, centro vinculado à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), localizado na cidade do Recife. O LECC foi estruturado durante o período da pandemia para viabilizar pesquisas relacionadas à contenção e mitigação da disseminação do vírus, operando com equipamentos especializados, como sistemas de espectrometria e ambientes controlados.

2.1 Material do estudo

O objeto de estudo constituiu nos protetores respiratórios do tipo PFF2, classificados em dois modelos distintos: modelo 1, com valor aquisitivo de R\$10,00 e o modelo 2, com custo significativamente inferior, de R\$0, 96 (Figura 1). Essa diferenciação econômica entre os modelos permitiu a análise comparativa entre produtos de faixas distintas de investimento, frequentemente utilizados em ambientes hospitalares e industriais.

Figura 1 - Modelos de protetores semifaciais utilizados na pesquisa.
Figure 1. Models of half-face protectors used in the research.



Fonte: Google Imagens, 2025.
Source: google images, 2025.

No delineamento amostral foi considerado um total de $n=60$ unidades, sendo 30 unidades para cada modelo. Essa distribuição igualitária permitiu o tratamento estatístico adequado, garantindo representatividade dos resultados obtidos nas análises espectrométricas, morfológicas e de atenuação. Além das amostras submetidas aos processos experimentais, foram selecionados protetores utilizados como brancos analíticos (amostras controle) destinados à comparação dos efeitos da descontaminação por radiação UVC. Foram escolhidas 8 máscaras de cada modelo, totalizando 16 unidades, que não passam pelo procedimento de exposição à UVC. Esses brancos são fundamentais para a avaliação das alterações provocadas exclusivamente pela radiação sobre os materiais, permitindo validar a eficácia dos métodos aplicados e assegurar que os

resultados observados não sejam decorrentes de variações naturais ou de fabricação dos protetores.

2.1.1 Ficha técnica protetor semifacial modelo 1

O Equipamento de Proteção Respiratória modelo 1, N95 PFF2.S foi desenvolvido para garantir a segurança respiratória do usuário em ambientes hospitalares, auxiliando na proteção contra o contágio de doenças infectocontagiosas por meio de partículas e vapores tóxicos. Fabricado no modelo *FLOW*, na cor branca e sem válvula, possui um filtro *Melt Blow* altamente eficiente na retenção de contaminantes presentes no ar sob a forma de aerossóis. Este protetor respiratório corresponde ao modelo, lote 2309010297, registrado na ANVISA sob o número 81855830032²⁵.

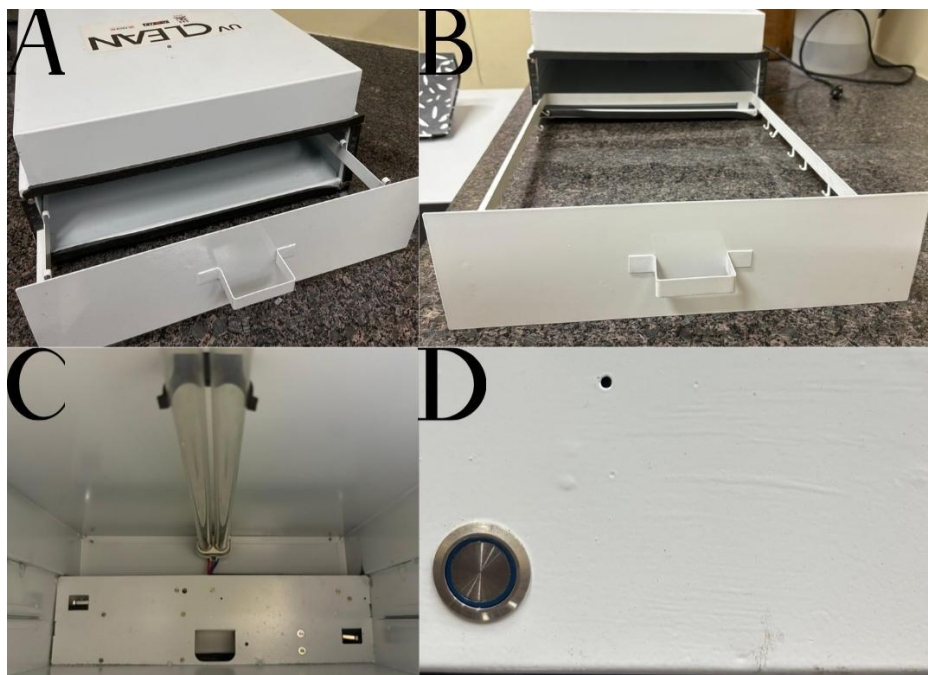
2.1.2 Ficha técnica do protetor semifacial modelo 2

O protetor respiratório modelo 2, classe PFF-2(S), foi desenvolvido para a proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas não oleosas e fumos, além de auxiliar na redução da exposição ocupacional a aerossóis contendo agentes biológicos potencialmente patogênicos. Equipado com filtro de tratamento eletrostático, proporciona fácil respiração e alta capacidade de retenção de partículas. Com sistema antiembaçante evita o embaçamento dos óculos de segurança, garantindo maior conforto e segurança ao usuário. Este respirador corresponde ao lote 3M22092880 e possui registro na ANVISA sob o número 80284930344²⁶.

2.2 Descontaminação por radiação ultravioleta C (UVC)

A descontaminação dos protetores respiratórios pelo método com exposição à radiação UVC foi realizada utilizando o equipamento UVCLEAN²⁷, desenvolvido pela UFPE, em parceria com o CRCN/NE, conforme ilustrado na Figura 2A. Este equipamento foi concebido especificamente para promover a higienização de dispositivos de proteção individual por meio de ciclos controlados de radiação germicida, atendendo aos requisitos técnicos de segurança e eficácia necessários à descontaminação de materiais sensíveis.

Figura 2 - Equipamento UVCLEAN e seus principais componentes.
Figure 2 - UVCLEAN equipment and its main components.



A) Equipamento UVCLEAN; B) Gabinete desenvolvido para suporte dos protetores semifaciais;
C) Fonte de radiação ultravioleta; D) Controle eletrônico.

Fonte: os autores, 2025.
Source: the authors, 2025.

O UVCLEAN é composto por três componentes principais: o gabinete (Figura 2B), responsável por isolar o ambiente externo e conter a emissão de radiação; a fonte de radiação ultravioleta (Figura 2C), baseada em lâmpadas especiais com capacidade de emissão na faixa germicida do espectro eletromagnético; e o sistema de controle eletrônico (Figura 2D), que gerencia os parâmetros de operação. Os ciclos de exposição foram programados com duração de 30 segundos por meio do sistema PH7-800-95U BIVOLT, equipamento que permite controle preciso da ativação e desativação das lâmpadas.

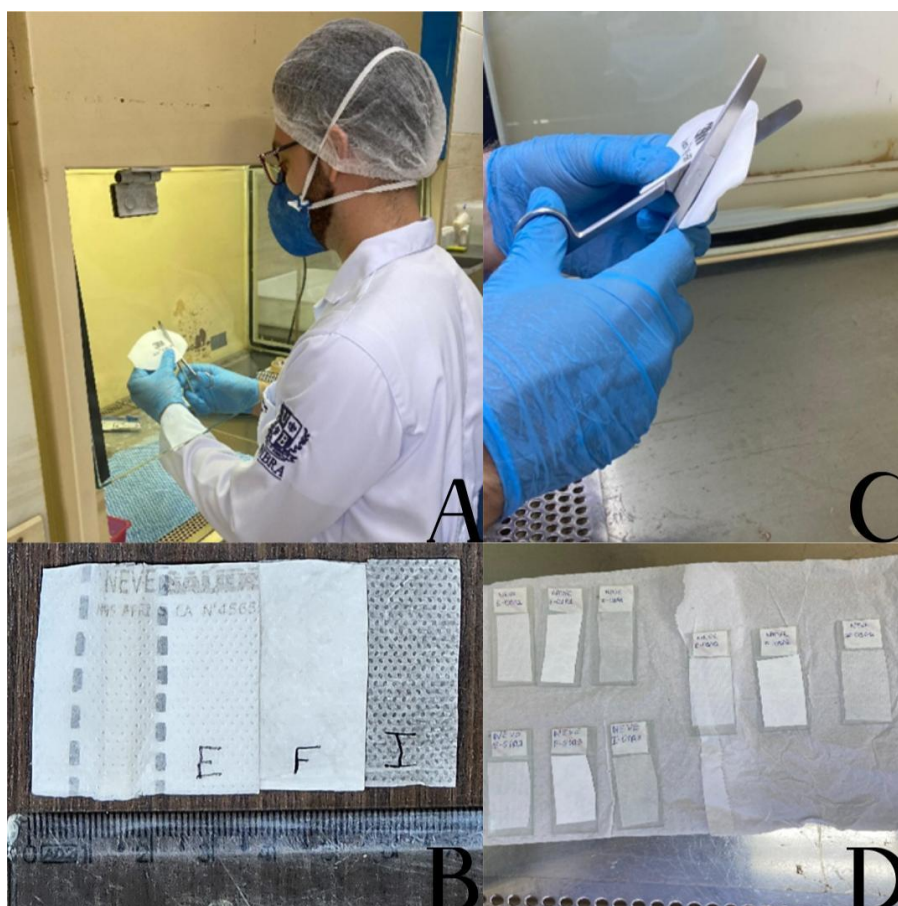
Os reatores internos determinam o tempo de operação e regulam a potência utilizada, sendo 95 W, valor que garante uma dose eficaz de radiação para eliminação de microrganismos sem comprometer a integridade dos materiais poliméricos dos protetores respiratórios. As amostras foram submetidas ao processo de descontaminação em triplicata, respeitando rigoroso controle experimental. A cada ciclo, foram processadas três unidades de cada modelo de protetor respiratório (totalizando seis por sessão) seguindo uma sequência de exposição com os seguintes intervalos acumulativos: 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 ciclos no UVCLEAN.

2.3 Preparação das amostras para análise

Após a exposição dos protetores faciais à luz UVC, o processamento das amostras foi realizado em uma capela de fluxo laminar do tipo vertical (modelo *Airstream*, ESCO), previamente descontaminada por radiação UV. A qual proporciona uma atmosfera asséptica e controlada, minimizando a possibilidade de contaminações ambientais durante o manuseio das amostras. Para garantir biossegurança e precisão no processo, foram utilizados EPIs como luvas de nitrila, touca, máscaras, jaleco, para o corte do material, foi utilizada tesoura cirúrgica, permitindo cortes precisos sem causar estresse mecânico à estrutura dos protetores (Figura 3A).

Figura 3 – Técnica utilizada para o processamento das amostras.

Figure 3 - Technique used for sample processing.



- A) Procedimento asséptico em capela de fluxo laminar; B) Identificação das camadas Externas, Filtro e Interna;
C) Escolha da região oronasal do protetor respiratório; D) Fragmentação numerada e codificada de 1 a 9.

Fonte: os autores, 2025.

Source: the authors, 2025.

Cada amostra foi dividida em três subamostras: camada Externa (E), material Filtrante (F) e camada Interna (I). Que foi seccionada em fragmentos uniformes com área de 10 cm² (Figura 3B), padrão suficiente para permitir análises espectrométricas e morfológicas sem comprometer o volume total da amostra original. A região selecionada para obtenção dos fragmentos foi a posição oronasal (Figura 3C).

Ao final do processo de seccionamento, foram obtidos nove fragmentos consecutivos numerados de 1 a 9, posicionados linearmente da esquerda para a direita, respeitando a sequência espacial original do protetor. As subamostras foram cuidadosamente acomodadas em lâminas de microscopia (Figura 3D).

Para a proteção e preservação da integridade das amostras, foram cuidadosamente fixadas entre duas lâminas de microscopia sobrepostas, garantindo isolamento físico. As laterais das lâminas foram vedadas com fita adesiva, evitando deslocamentos ou contaminações externas. A identificação de cada amostra foi feita manualmente, com registros na parte fosca da lâmina de suporte, área tradicionalmente utilizada para anotação em lâminas de microscopia, por oferecer aderência ao grafite ou tinta permanente.

Durante esse procedimento, foi garantido que não ocorresse tração, compressão ou qualquer tipo de estresse mecânico entre as fibras, condição essencial para não comprometer a morfologia e integridade estrutural da amostra. A nomenclatura registrada para codificação incluía o nome do modelo do protetor respiratório estudado, seguido por uma letra indicativa da camada analisada (I, F ou E). Em seguida, era acrescentado o número de ciclos de descontaminação a que aquela amostra foi submetida, uma letra do alfabeto em ordem crescente (para diferenciar amostras distintas dentro de um mesmo conjunto) e um número de posição entre 1, 2 ou 3, representando sua localização sequencial da esquerda para a direita.

Essa codificação sistemática visou facilitar o rastreio, organização e correlação dos dados obtidos em análises posteriores. Após esse processo de rotulagem, as amostras foram armazenadas cuidadosamente em caixas específicas para lâminas, projetadas para minimizar o risco de abrasão, quebra ou qualquer outro dano físico. O acondicionamento adequado garantiu que as amostras mantivessem suas características originais até o momento da obtenção dos espectros gama, etapa crucial para os estudos de atenuação e caracterização das camadas.

2.4 Obtenção dos espectros gama

As análises de atenuação gama foram realizadas conforme o procedimento descrito por Bezerra²⁰, utilizando a Espectrometria Gama de Alta Resolução (EGAR), que se destaca por sua capacidade de detecção precisa e seletiva de radionuclídeos, mesmo em níveis muito baixos de atividade. Este equipamento (Figura 4A) foi responsável pela aquisição dos espectros, os quais refletem a interação entre as camadas dos protetores faciais (alvo do estudo) e uma fonte radioativa de baixíssima intensidade.

Figura 4. Atenuação com radiação gama.
Figure 4. Attenuation with gamma radiation.



A) Detector gama; B) Fonte Eu – 152; C) Castelo de chumbo e plataforma cilíndrica; D) Amostra posicionada sobre o detector de germânio puro.

Fonte: os autores, 2025.

Source: the authors, 2025.

Para realizar os ensaios, empregou-se uma fonte puntiforme de Európio-152 (Eu-152), com 5 mm de diâmetro (Figura 4B) e atividade de 3 kBq, com data de referência: 11/2006. O Eu-152 é conhecido por emitir raios gama em múltiplas energias, abrangendo o intervalo de 100 a 1500 keV, sendo amplamente utilizado em calibração de espectrômetros e em estudos de atenuação devido à variedade de seus picos energéticos.

A fonte foi montada em um aparato cilíndrico constituído por um plástico rígido e resistente, com dimensões de 100 mm de diâmetro e 180 mm de altura, desenhado para garantir estabilidade e adequada suspensão da fonte. Este suporte foi acoplado a uma base do mesmo material, posicionado sob uma blindagem de chumbo (Figura 4C) localizada no topo da estrutura, a qual tem, como função minimizar a exposição da fonte às camadas dos protetores respiratórios, assegurando a direção controlada do feixe gama.

Tanto o suporte quanto a blindagem foram perfurados com orifícios de 5 mm de diâmetros, posicionados exatamente ao centro, permitindo o alinhamento preciso do feixe eletromagnético gerado pela fonte de Eu-152 em direção às lâminas posicionadas no detector. As lâminas contendo as camadas dos protetores foram então posicionadas (Figura 4D) entre a fonte e o detector de germânio puro (material com alta resolução espectral) com tempo de exposição cuidadosamente configurado em 2.000 segundos (equivalente a 33 minutos). Este tempo foi estabelecido com o objetivo de obter dados estatisticamente relevantes sem provocar exposição excessiva à radiação, respeitando os limites de segurança radiológica.

2.5 Análise quimiométrica

A deconvolução dos espectros foi realizada pelo programa de computador Genie da Canberra, amplamente utilizado na área de espectrometria gama por sua capacidade de identificar e quantificar radionuclídeos com precisão. Estes dados foram convertidos em planilha Excel®, tratados e analisados pelo programa de computador The Unscrambler²⁸, reconhecido por sua eficiência na aplicação de técnicas multivariadas. Neste estudo, foi utilizado a Análise por Componentes Principais (PCA) com rotação Varimax,

a fim de facilitar a interpretação dos fatores principais, destacando padrões e correlações entre variáveis nos espectros.

A região de interesse dos espectros foi delimitada entre 50 e 5000 keV, abrangendo a faixa energética onde se concentram os picos de emissão relevante de radionuclídeos de interesse. Essa faixa corresponde aproximadamente aos canais de 50 a 1500, 1501 a 3000, 3001 a 4951, permitindo a segmentação da análise por faixas energéticas para melhor resolução dos dados. Após a extração da PCA, aplicou-se a Análise de Agrupamentos utilizando o software Statística®, ferramenta amplamente empregada em estatística aplicada, para identificar grupos ou padrões de similaridade entre os espectros analisados, contribuindo para a distinção entre diferentes amostras ou condições experimentais.

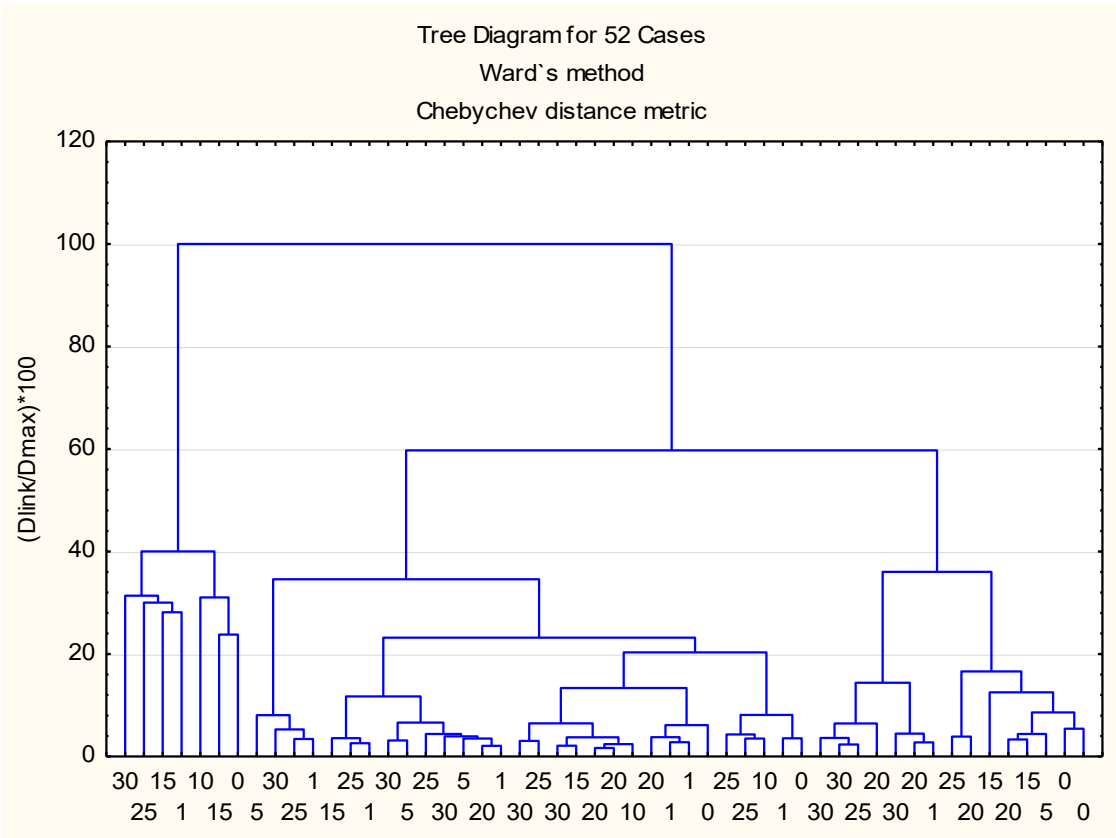
3. Resultados

A PCA evidenciou agrupamentos dos resultados obtidos nas análises das camadas E, F e I, tanto as amostras submetidas à exposição UVC no UVCLEAN em ciclos crescentes de 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, quanto para os brancos analíticos (não expostos ao tratamento). A utilização da rotação *Varimax* permitiu melhorar a comparação entre os dados, com isso, foi empregado a construção de dendrogramas utilizando cálculo de distância de *Ward's method* e algoritmos de agrupamentos como *Chebychev* e *City-block*.

3.1 Camada externa (E)

O dendrograma apresentado na Figura 5 destaca o padrão de distribuição dos brancos analíticos entre os grupos formados, oferecendo uma visão clara da organização espectral das amostras na camada externa. O modelo 1 destacou-se por seu desempenho superior, especialmente no canal 3001-4951, refletido na formação de um número menor de agrupamentos e na distribuição mais homogênea dos brancos analíticos. Esse desempenho sugere uma maior homogeneidade entre os brancos e as amostras tratadas, indicando que a camada analisada foi eficaz em preservar a integridade do TNT mesmo após a exposição à radiação UVC.

Figura 5. Dendrograma modelo 1, camada externa.
Figure 5. Dendrogram model 1, outer layer.



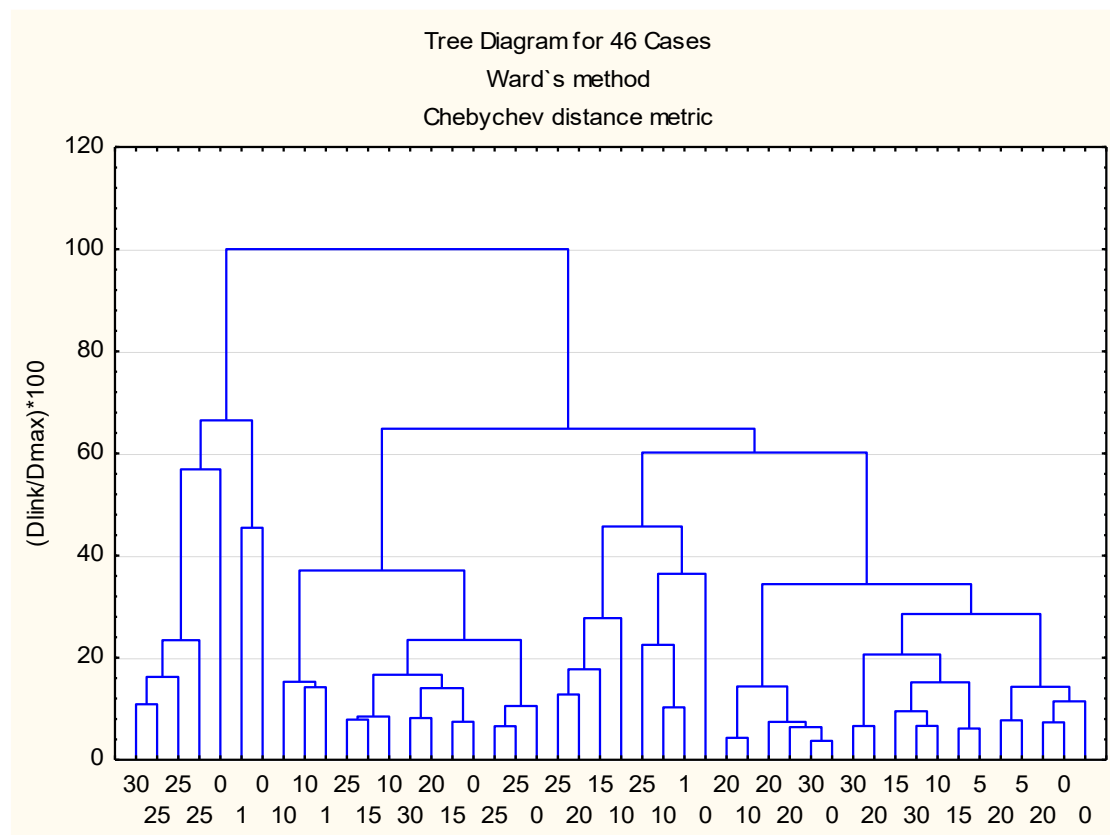
Fonte: os autores, 2025.
Source: the authors, 2025.

Dentre os algoritmos de agrupamentos aplicados, o *Chebychev* apresentou os resultados mais consistentes e robustos. Ele foi responsável pela formação do menor número de grupos e pela distribuição completa dos brancos analíticos entre eles, o que reforça sua capacidade de identificar padrões de similaridade mesmo diante de possíveis variações induzidas pelo tratamento. Com isso, nessa configuração, as amostras expostas à radiação mantiveram características espectrais próximas às dos controles, o que pode indicar uma maior resistência do material analisado.

Já para o modelo 2 (Figura 6), também da camada externa, embora tenha sido observada uma ampla distribuição dos brancos analíticos, os resultados não se mostraram tão satisfatórios quanto os observados no modelo 1. O número elevado de agrupamentos formados, oito no total, sugere que a radiação UVC pode ter provocado alterações significativas nas amostras expostas, comprometendo sua integridade e dificultando a formação de grupos com os brancos analíticos.

Figura 6. Dendrograma modelo 2, camada externa.

Figure 6. Dendrogram model 2, outer layer



Fonte: os autores, 2025.

Source: the authors, 2025.

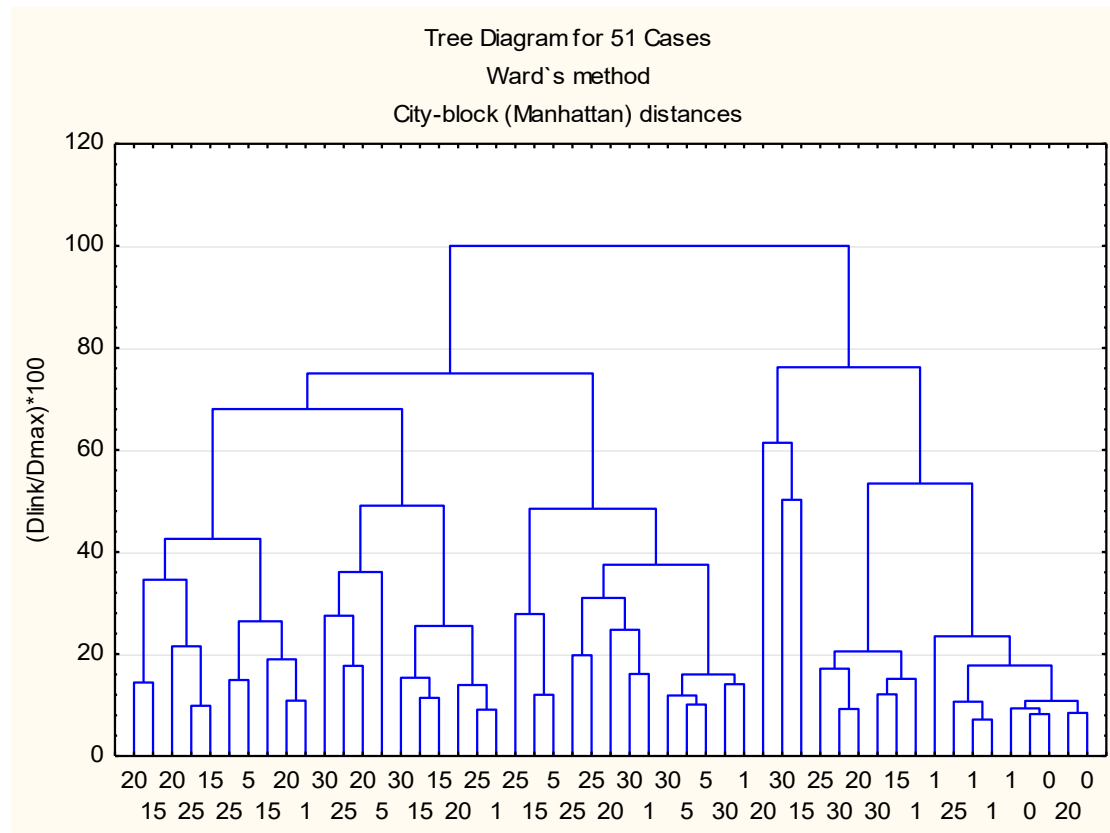
No canal 1501-3000, os brancos analíticos estiveram presentes em apenas 62% dos agrupamentos, o que significa uma menor consistência na associação entre os padrões esperados e as amostras tratadas. Essa fragmentação pode ser interpretada como um sinal de que o tratamento induziu variações espectrais relevantes, suficientes para afastar as amostras expostas dos perfis esperados. O algoritmo de agrupamento *Chebychev* captou essas diferenças e projetou-as na estrutura do dendrograma.

3.2 Camada filtro (F)

Na camada filtro do modelo 1 (Figura 7), observa-se um agrupamento isolado de brancos analíticos no canal 1501-3000, o que sugere a ocorrência de um possível estresse nas amostras submetidas à radiação UVC. Esse comportamento de separação indica que os brancos analíticos não mantiveram similaridade espectral com as amostras tratadas, o que pode ser resultado de alterações físico-químico provocadas pela

exposição à radiação. Esse comportamento é particularmente relevante, pois evidencia uma perda de similaridade entre os grupos, comprometendo a consistência dos dados.

Figura 7. Dendrograma modelo 1, camada filtro.
Figure 7. Dendrogram model 1, filter layer

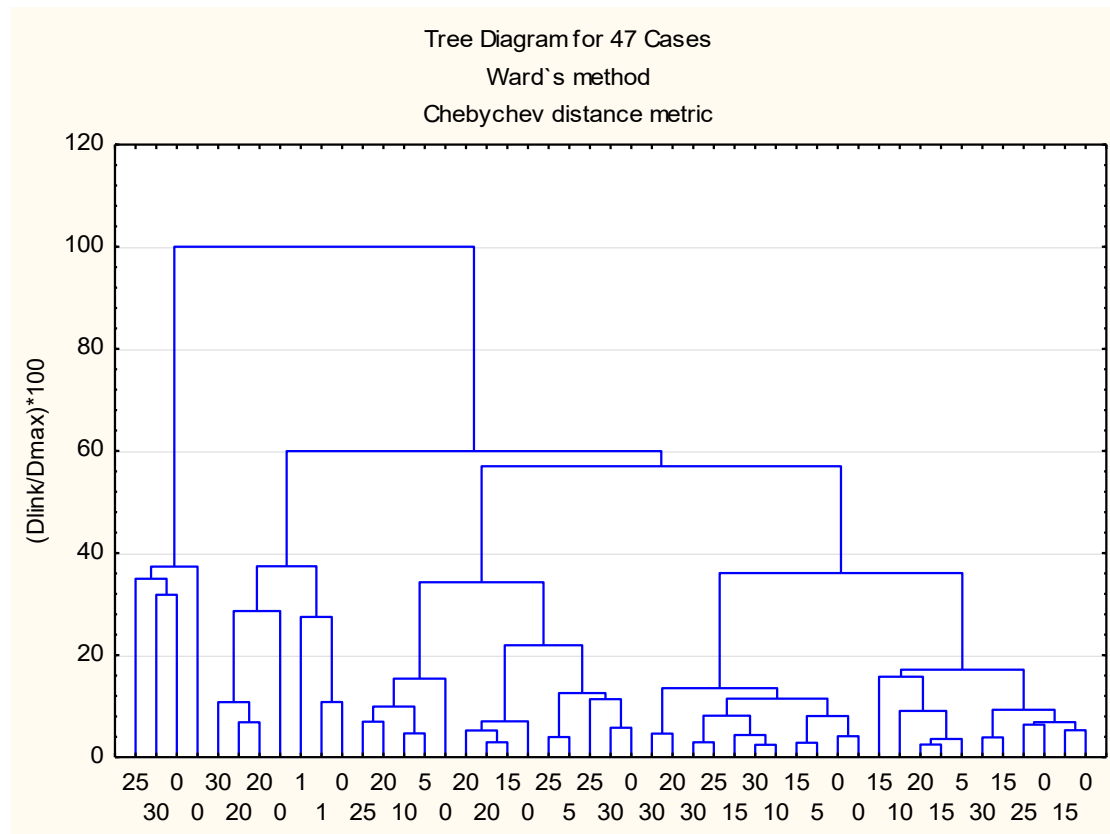


Fonte: os autores, 2025.
Source: the authors, 2025.

Esse efeito é ainda mais evidente quando se considera a elevada quantidade de agrupamentos formados (onze no total) o que aponta para uma fragmentação significativa entre as amostras. A divergência entre o grupo dos brancos analíticos, que representou 9% do total, e os demais grupos compostos por amostras expostas ao tratamento, reforça a hipótese de que a radiação UVC impactou de forma considerável a estrutura do material. O algoritmo de agrupamentos *City-block*, escolhido neste dendrograma, acentuou que através das distâncias dos brancos analíticos das amostras tratadas, sugere que a camada filtro do modelo 1 é sensível a pequenas variações induzidas pelo tratamento.

Já na camada filtro do modelo 2 (Figura 8), observa-se uma distribuição completa dos brancos analíticos (100%) entre os quatro agrupamentos formados no dendrograma correspondente ao canal 3001-4951. Esse resultado indica uma elevada uniformidade entre as amostras analisadas, independentemente de terem sido expostas ou não à radiação UVC. A ausência de distinções significativas entre os grupos sugere que o tratamento não provocou alterações detectáveis nas características espectrais da camada filtro do modelo 2 dentro dessa faixa de comprimento de onda.

Figura 8. Dendrograma modelo 2, camada filtro.
 Figure 8. Dendrogram model 2, filter layer.



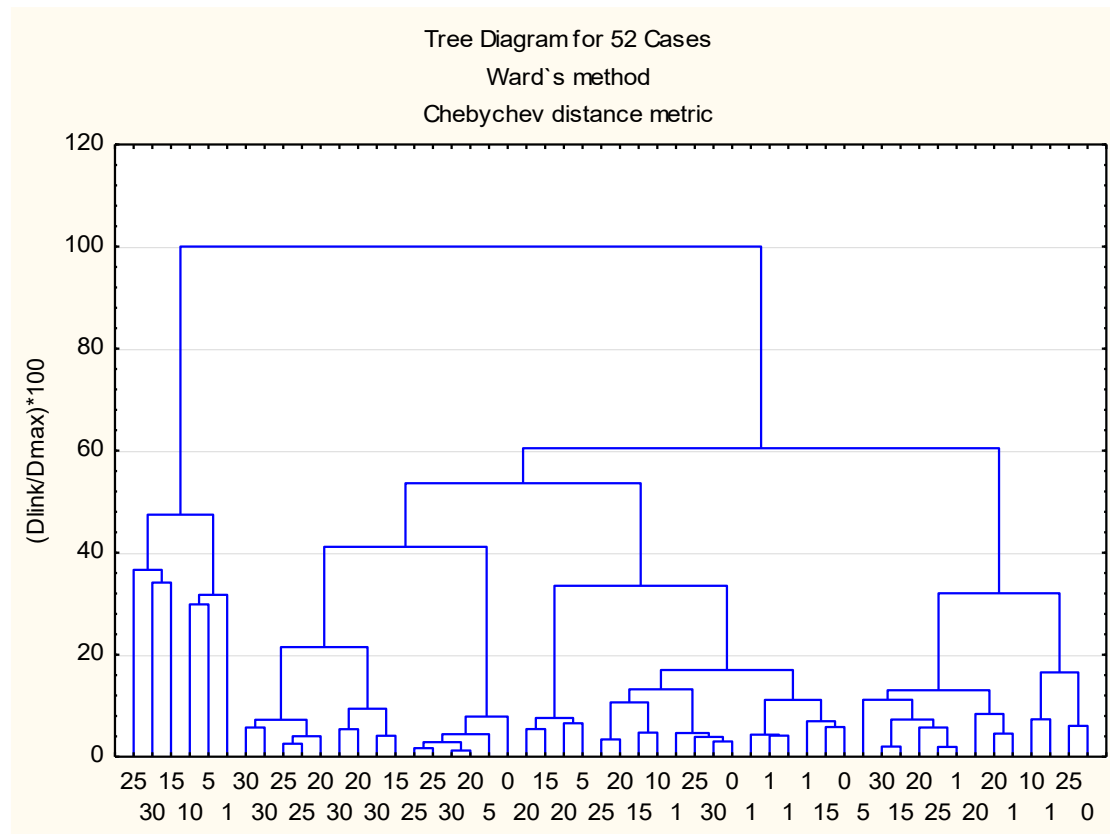
Fonte: os autores, 2025.
 Source: the authors, 2025.

A estabilidade evidente no dendrograma é particularmente relevante, pois demonstra que, mesmo após múltiplos ciclos de exposição à radiação UVC, as amostras mantiveram um comportamento espectral semelhante ao dos brancos analíticos. O algoritmo de agrupamentos *Chebychev*, não identificou divergências claras entre os conjuntos, o que reforça a hipótese de que o material analisado apresenta resistência ou baixa reação à radiação.

3.3 Camada interna (I)

Contudo, a camada interna do modelo 1 (Figura 9) não apresentou resultados tão satisfatórios quanto os observados em outras camadas ou modelos. Dos seis agrupamentos formados no dendrograma correspondente ao canal 1-1500, apenas 50% registraram a presença dos brancos analíticos, o que indica uma distribuição limitada e possivelmente comprometida desses controles. Essa baixa distribuição dos brancos analíticos sugere que o tratamento com radiação UVC pode ter provocado alterações significativas nessa camada, afetando sua composição ou estrutura.

Figura 9. Dendrograma modelo 1, camada interna.
 Figure 9. Dendrogram model 1, inner layer.

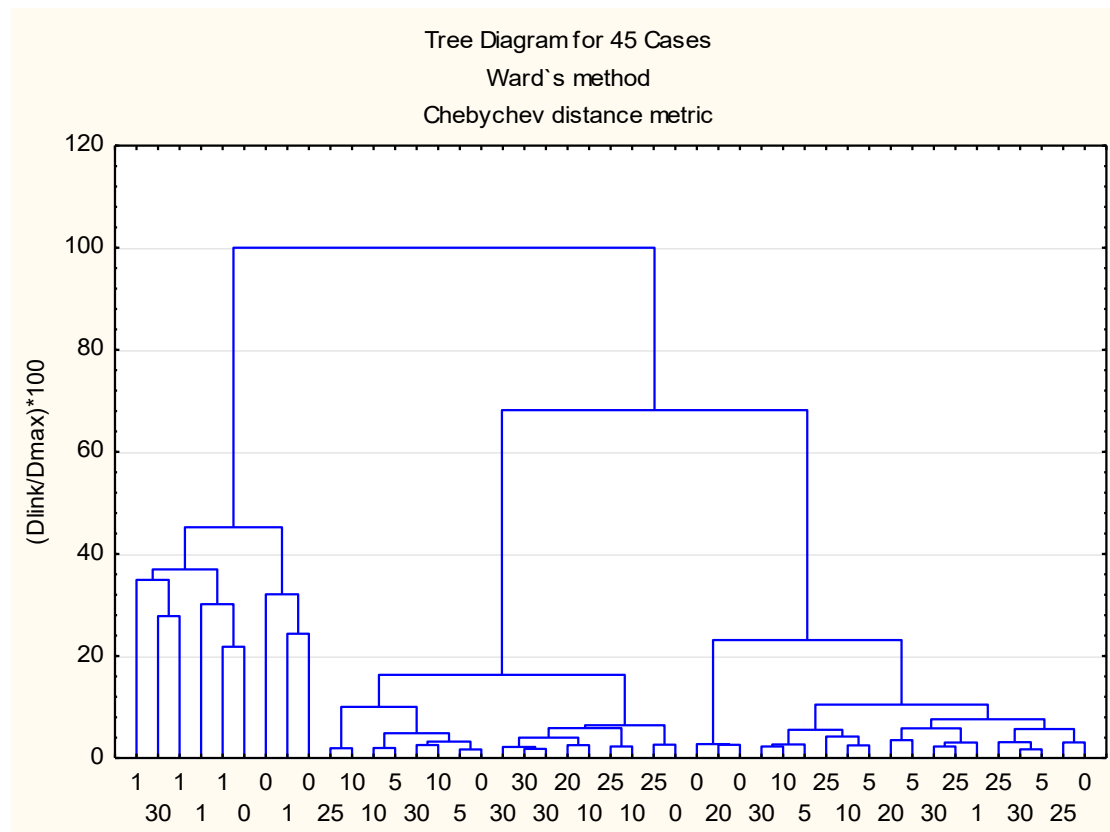


Fonte: os autores, 2025.
 Source: the authors, 2025.

Para esse padrão de agrupamentos observado no dendrograma, aponta para uma possível interferência direta da radiação na estrutura do TNT. Essa interferência pode ter causado degradação, reorganização da fibra ou outros tipos de estresse físico ou químico, resultando em uma maior divergência entre as camadas tratadas. Como consequência, o algoritmo de agrupamento *Chebychev* teve dificuldade em reconhecer similaridades consistentes entre os brancos e as amostras expostas.

Por outro lado, a camada interna do modelo 2 (Figura 10) mostrou-se consideravelmente menos suscetível aos efeitos da radiação UVC, apresentando um desempenho mais consistente em comparação ao modelo 1. O dendrograma gerado para o canal 1501-3000 revelou uma distribuição completa (100%) dos brancos analíticos entre os quatro agrupamentos formados, o que indica uma alta similaridade significativa entre as camadas analisadas. Esse padrão sugere que, mesmo após a exposição à radiação UVC, as características espectrais das amostras permanecem estáveis, sem apresentar alterações que comprometessem sua integridade ou provocassem separações evidentes nos agrupamentos.

Figura 10. Dendrograma modelo 2, camada interna.
 Figure 10. Dendrogram model 2, inner layer.



Fonte: os autores, 2025.
 Source: the authors, 2025.

A aplicação do algoritmo de agrupamento *Chebychev* reforçou essa observação, ao demonstrar uma clara similaridade entre as amostras tratadas e os brancos analíticos. Isso pode indicar que, sob as condições específicas de exposição adotadas neste estudo, o material analisado apresentou uma resistência maior à radiação, mantendo suas propriedades.

3.4 Estatística percentual referente aos dendrogramas

A Tabela 1 apresenta a estatística percentual referente aos resultados obtidos nos dendrogramas, organizados de acordo com as diferentes camadas (externa, filtro e interna), modelos (modelo 1 e modelo 2), faixas de canais espectrais analisados e os algoritmos de agrupamentos aplicados (*city-block* e *chebychev*). Essa tabela permite uma visualização comparativa e detalhada do desempenho de cada configuração experimental, destacando a distribuição dos brancos analíticos entre os agrupamentos formados. Além disso, os dados percentuais fornecem uma base quantitativa para avaliar a consistência, a homogeneidade e sensibilidade dos modelos frente à exposição à radiação UVC, bem como a eficácia dos algoritmos na identificação de padrões de similaridade entre as camadas. Essa abordagem estatística é fundamental para na identificação de padrões de similaridade entre as camadas. Essa abordagem estatística é fundamental para validar os achados qualitativos observados nos dendrogramas e reforçar as interpretações sobre os efeitos do tratamento nas diferentes camadas do material analisado.

Tabela 1. Estatística percentual referente aos resultados obtidos nos dendrogramas.
Table 1. Percentage statistics referring to the results obtained in the dendrograms.

Camada	Modelo	Canal	City-Block			Chebychev		
			Agrupamento	Ø	Outliers	Agrupamento	Ø	Outliers
Externo (E)	1	1-1500	5	60%	0	8	62,5%	1
		1501-3000	7	43%	2	6	50%	0
		3001-4951	6	50%	1	3	100%	0
	2	1-1500	11	64%	3	10	70%	3
		1501-3000	10	50%	3	8	62,5%	3
		3001-4951	12	50%	1	11	54%	1
Filtro (F)	1	1-1500	8	12,5%	1	9	22%	3
		1501-3000	11	9%	3	9	11%	3
		3001-4951	10	30%	1	9	11%	2
	2	1-1500	7	86%	1	10	60%	3
		1501-3000	7	71%	1	6	83%	0
		3001-4951	11	64%	5	4	100%	0
Interno (I)	1	1-1500	9	33%	4	6	50%	0
		1501-3000	9	33%	4	7	43%	2
		3001-4951	9	33%	3	7	28%	3
	2	1-1500	7	57%	1	9	67%	2
		1501-3000	5	80%	0	4	100%	0
		3001-4951	13	54%	5	5	40%	0

Ø: Média percentual obtida da distribuição dos brancos analíticos nos agrupamentos.

Outliers: Dados que se diferenciam drasticamente de todos os outros.

City-Block e Chebychev: Algoritmos de agrupamentos.

Canal: segmentação da análise por faixas energéticas

Fonte: os autores, 2025.

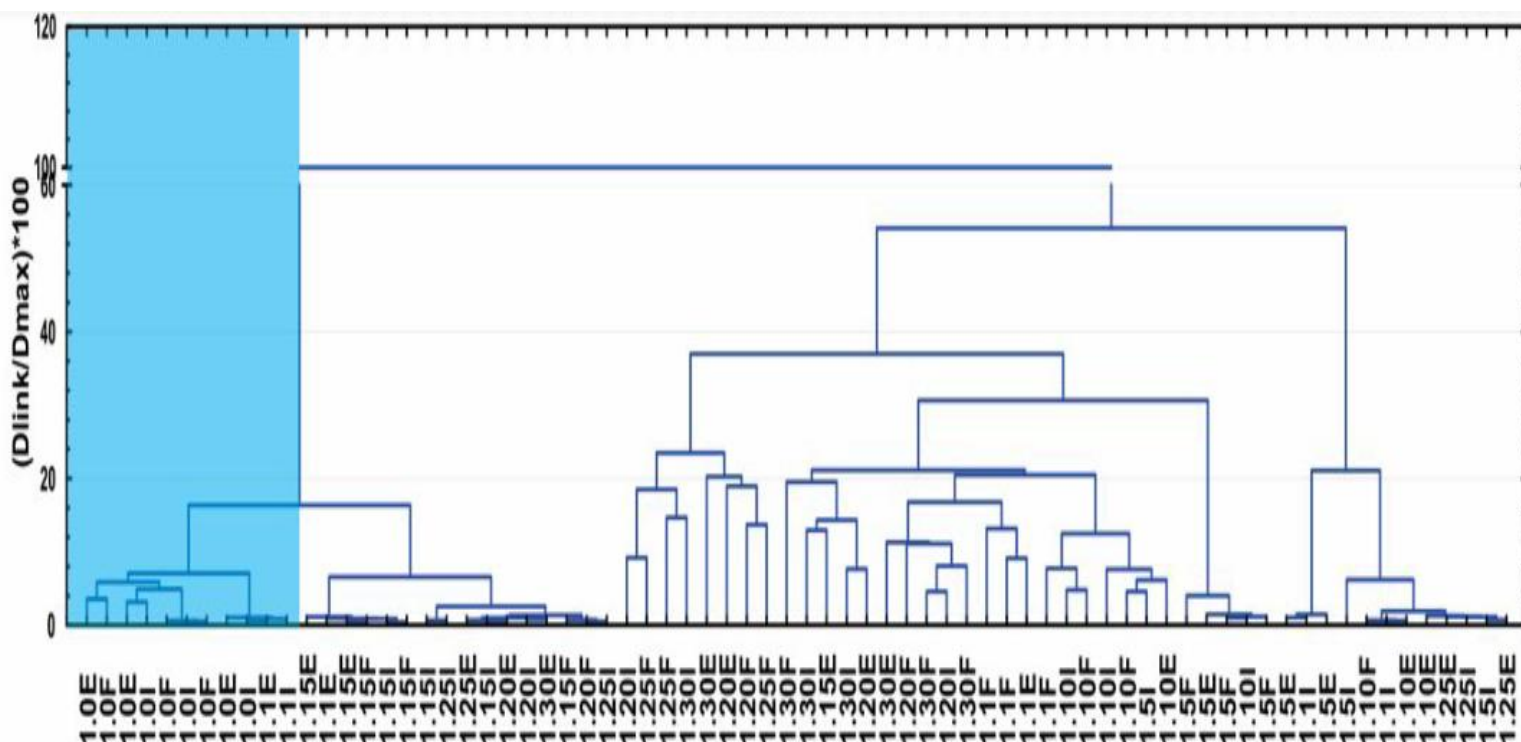
Source: the authors, 2025.

Na camada externa, o modelo 1 demonstrou maior estabilidade com o algoritmo de agrupamento *Chebychev*, obtendo taxas de distribuição entre 50% e 100% com presença mínima de outliers. O modelo 2, embora tenha atingido taxas um pouco inferiores com *Chebychev* (até 70%), apresentou maior número de *outliers*, indica maior vulnerabilidade das fibras. Já na camada filtro, observou-se desempenho significativamente superior do modelo 2, que apresentou médias de distribuição de brancos analíticos que variam de 60% a 100%, superando amplamente o modelo 1, com distribuição de brancos analíticos variando entre 33% e 100%, com o modelo 2 se destacando no intervalo com *Chebychev*. De modo geral, o modelo 2 obteve melhor desempenho na distribuição dos brancos analíticos nos agrupamentos, principalmente nas camadas filtro e interna, e o modelo 1 apenas na camada externa, já para o algoritmo de agrupamento *Chebychev* apresentou melhores resultados.

4. Discussão

No estudo de Medeiros²⁹, os resultados obtidos evidenciam que o processo de separação de camadas, realizado por meio da análise de agrupamentos, indicou alterações na integridade física do material utilizado, especialmente quando submetidos a mais de 15 ciclos de descontaminação com radiação UVC (Figura 11). O autor destaca a importância de considerar a gramatura de cada camada, uma vez que foram observadas fragilidades significativas nas camadas de TNT expostas à radiação, particularmente naquelas com gramaturas inferiores a 40 g m⁻². Essa vulnerabilidade foi confirmada por meio de análises realizadas com Microscopia Óptica.

Figura 11. Dendrograma de análise de modelo alternativo de protetor respiratório.
 Figure 11. Dendrogram of analysis of alternative model of respiratory protector.



Fonte: Medeiros, 2024²⁹.
 Source: Medeiros, 2024.

5. Conclusões

Os resultados obtidos por meio da espectrometria gama de alta resolução e da análise por componentes principais, seguidos de algoritmos de agrupamento (*Chebychev* e *City-Block*), demonstraram que o modelo 2 apresentou maior resistência estrutural ao processo de descontaminação com UVC, especialmente nas camadas filtro e interna, com menor incidência de *outliers* e maior similaridade espectral entre as amostras controle. Já o modelo 1 apresentou fragilidades mais evidentes, sobretudo na camada filtro, com baixa porcentagem de brancos analíticos nos agrupamentos e maiores divergências espectrais após o tratamento.

A análise estatística dos dendrogramas evidencia a eficácia do algoritmo *Chebychev* em identificar padrões de similaridade, destacando-se como a métrica mais sensível nas análises comparativas, portanto, o uso da ferramenta quimiométrica associadas à radiação gama é eficaz na avaliação da integridade física de protetores semifaciais, oferecendo uma abordagem segura, acessível e reprodutível para a análise de Equipamentos de Proteção Individual.

Ademais, os achados contribuem para a redução de resíduos hospitalares e para o cumprimento das metas citadas e estabelecidas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, como a promoção do consumo responsável e da sustentabilidade na área da saúde. Reforça-se, por fim, a importância da ciência e da inovação nas respostas às crises sanitárias globais, destacando o papel dos profissionais de saúde e pesquisadores na construção de soluções seguras e sustentáveis.

6. Referências

1. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med*. 2020;382(8):727-733. doi: 10.1056/NEJMoa2001017.
2. Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 2020; 395(10223):497-506.
3. World Health Organization (WHO). Relatório Covid-19. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>
4. Ministério da Saúde. Coronavírus Brasil [Internet]. 2025. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>
5. Cheng, KK, Lam, TH e Leung, CC. Uso de máscaras faciais na comunidade durante a pandemia de COVID-19: altruísmo e solidariedade. *The Lancet*, 2022, 399 (10336), e39-e40.
6. NOTA INFORMATIVA MÁSCARAS PFF2 E N95 No 01. Disponível em: https://www.saude.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/9/2020/02/Nota_Informativa_mascaras_20012022.pdf
7. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da diretoria colegiada- RDC Nº 185, de 22 de outubro de 2001. Disponível em: <https://www.saude.go.gov.br/vigilancia-em-saude/vigilancia-sanitaria/produtos-para-saude>
8. World Health Organization (WHO). Statement on the second meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-nCoV). 2020 Jan.
9. Lin TH, Chen CC, Huang SH, Kuo CW, Lai CY, Lin WY. Filter quality of electret masks in filtering 14.6–594 nm aerosol particles: Effects of five decontamination methods. *PLoS One*. 2017;12(10):e0186217.
10. França EJ, Silva RLBA, Silva EW, Portugal WM. Método quimiométrico por radiação gama para a avaliação de procedimentos de descontaminação de materiais hospitalares semelhantes a tecidos. Congresso Multidisciplinar de Saúde: Tecnologia aplicada à saúde. *Revista Universitária Brasileira*. 2025; 3(3) 45-45.
11. Liao L, Xiao W, Zhao M, Yu X, Wang H, Wang Q, et al. Can N95 facial masks be used after disinfection? And for how many times? Report from the collaboration of Stanford University and 4C Air. *medRxiv*. 2020. doi: 10.1101/2020.04.01.20050443.
12. Heimbuch BK, Wallace WH, Kinney K, Lumley AE, Wu CY, Woo MH, 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.
13. Schwartz A, Stiegel M, Greeson N, Vogel A, Thomann W, Brown M, 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*. 2020;25(2):67-70.
14. Lindsley WG, Martin SB Jr, Thewlis RE, Sarkisian K, Nwoko JO, Mead KR, et al. Effects of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) on N95 respirator filtration performance and structural integrity. *J Occup Environ Hyg*. 2015;12(8):509-517.
15. Kowalski W. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. 1st ed. Springer; 2009.
16. Silva EW, França EJ, Silva RLBA, Ferreira DS, Neves GBCN, Wanuska MP. Efeitos de métodos de descontaminação por plasma sobre protetores respiratórios semifaciais PFF2. Congresso Multidisciplinar de Saúde: Tecnologia aplicada à saúde. *Rev Univer Brasi*. 2025; 3(3) 43-43.
17. Weber DJ, Rutala WA, Sickbert-Bennett EE, Kanamori H, Anderson DJ. Continuous room decontamination technologies. *Am J Infect Control*. 2019;47:A72-A78. doi: 10.1016/j.ajic.2019.03.016.
18. Heimbuch BK, Wallace WH, Kinney K, Lumley AE, Wu CY, Woo MH, 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.
19. Lindsley WG, Martin SB Jr, Thewlis RE, Sarkisian K, Nwoko JO, Mead KR, et al. Effects of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) on N95 respirator filtration performance and structural integrity. *J Occup Environ Hyg*. 2015;12(8):509-517.
20. Bezerra LCS. Integridade e funcionalidade de máscaras PFF2 após reutilização em ambiente hospitalar gerador de aerossóis. [dissertation]. Universidade Federal de Pernambuco; 2022.
21. Silva EW, Medeiros TPM, Paiva AC, Schirmer BGA, França EJ. análise quimiométrica a partir de espectros gama de protetores respiratórios semifaciais pff2 submetidos a radiação uvc. 63º Congresso Brasileiro de Química. Salvador. 2024.
22. Tauhata, L.; SALATI, I.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. R. Interaction of the radiation with matter (INIS-BR--14043). Brasil. Rio de Janeiro. 2013. p. 181-233.
23. Khudzaifi, M.; RETNO, S.S.; ROHMAN, A. The employment of FTIR spectroscopy and chemometrics for authentication of essential oil of Curcuma mangga from candle nut oil. *Food Research*, v.4, 2020.

DOI: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(2\).313](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(2).313).

24. ONU. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development General Assembly. Nova Iorque: A/RES/70/1: [s.n.]. 2015. Disponível em: <<https://undocs.org/en/A/70/L.1>>.
25. Neve medical. Boletim técnico: equipamento de proteção respiratória modelo N95. 2023. Disponível em: <https://nevemedical.com.br/linha-cirurgica/n95/>
26. 3M segurança pessoal. Boletim técnico: Respirador descartável tipo aura 9320+BR, 9322+BR, 9332+BR. 1 ed. São Paulo: 3M, 2022. Disponível em: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1409433O/technical-bulletin-3m-disposable-respirators-aura-9320-9322-9332.pdf>
27. Benevides, C. A., PEDROSA, T. L., MOURA, D. S. et al. Desenvolvimento e avaliação de cabine de radiação ultravioleta para desinfecção de máscaras hospitalares descartáveis, durante a pandemia da COVID-19. 2022.
28. Camo. The Unscrambler User Manual. Camo Software AS, 2006.
29. Medeiros TPM, França EJ, Paiva AC. Descontaminação de máscaras N95 utilizadas por profissionais de saúde em contato com pacientes internados com COVID-19. Iniciação Científica. 2023.

7. Anexo

