



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL de LONDRINA

---

HELENIZE FERREIRA LIMA LEACHI

**PROTÓTIPO DE MÁSCARA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA  
PARA TRABALHADORES EXPOSTOS À FUMAÇA  
CIRÚRGICA**

---

Londrina  
2022

HELENIZE FERREIRA LIMA LEACHI

**PROTÓTIPO DE MÁSCARA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA  
PARA TRABALHADORES EXPOSTOS À FUMAÇA  
CIRÚRGICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade Estadual de Londrina (UEL), para obtenção do título de Doutora em Enfermagem.

Orientadora: Profa. Dra. Renata Perfeito Ribeiro

Londrina  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Leachi, Helenize Ferreira Lima .

Protótipo de máscara de proteção respiratória para trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica / Helenize Ferreira Lima Leachi. - Londrina, 2022.  
85 f. : il.

Orientador: Renata Perfeito Ribeiro.

Tese (Doutorado em Enfermagem) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Enfermagem, 2022.

Inclui bibliografia.

1. Projetos de desenvolvimento tecnológico e inovação - Tese. 2. Equipamento de proteção individual - Tese. 3. Poluentes ocupacionais do ar - Tese. 4. Enfermagem - Tese. I. Ribeiro, Renata Perfeito. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Enfermagem. III. Título.

CDU 616-083

HELENIZE FERREIRA LIMA LEACHI

**PROTÓTIPO DE MÁSCARA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA  
PARA TRABALHADORES EXPOSTOS À FUMAÇA  
CIRÚRGICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade Estadual de Londrina (UEL), para obtenção do título de Doutora em Enfermagem.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Profa. Dra. Renata Perfeito  
Ribeiro  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Profa. Dra. Patricia Aroni  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Profa. Dra. Cibele Cristina Tramontini  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Profa. Dra. Fernanda Ludmilla Rossi Rocha  
Universidade de São Paulo - USP

---

Profa. Dra. Carmem Lúcia Colomé Beck  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Londrina, 06 de julho de 2022

## Dedicatória

A **Deus**, meu Pai que me dá forças todos os dias,  
é o meu guia, o meu socorro na hora da angústia, é  
essencial em minha vida.

Aos meus pais, **Agenor** e **Maria Aparecida**, sou  
eternamente grata ao amor incondicional que tens  
por mim, por me darem força e encorajar minha  
caminhada. Minhas conquistas devo a vocês.

Ao meu esposo, **Alexandre**, e meus filhos, **Felipe**  
e **Rafael**, pelo apoio e amor, vocês são meus  
estímulos para continuar todos os dias. Obrigada  
pela compreensão e paciência durante toda essa  
jornada. Agradeço a Deus por ter vocês em minha  
vida!

Às minhas irmãs **Karine** e **Viviane**, por sempre  
estarem presentes em minha vida, apoiando e  
torcendo por mim. Obrigada por fazerem parte da  
minha vida e que torcer pela concretização dessa  
etapa.

## Agradecimentos

A Profa. Dra. Renata Perfeito Ribeiro, minha querida orientadora e também amiga, conselheira, que com sua alegria contagiante trilhou este caminho comigo. Sempre confiou e ensinou-me com paciência a construção desse trabalho. A admiro muito e sempre levarei seu exemplo como ser humano. Deus preparou nosso encontro e não poderia ter me dado melhor presente. Agradeço a Deus pelo privilégio de tê-la como minha orientadora. Muito obrigada por tudo!

À banca Examinadora Profa. Dra. Patrícia Aroni, Profa. Dra. Cibele Cristina Tramontini, Profa. Dra. Fernanda Ludmilla Rossi Rocha e Profa. Dra. Carmem Lúcia Colomé Beck, por suas valiosas contribuições, que ajudaram a enriquecer esse estudo. Obrigada pelo tempo empreendido e pela dedicação. Aprendi muito com vocês.

As minhas amigas Aryane Apolinário Bieniek e Rayane Nascimbeni Maldonado, por ser o apoio

em diversos momentos. Por ter me impulsionado todos os dias com palavras de apoio. Agradeço a Deus pela benção de tê-las colocado em minha vida!

Aos Professores de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Londrina e à Seção de Pós-Graduação, por partilhar o conhecimento, que contribuiu para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A minha turma de doutorado, juntos vivemos momentos que jamais esquecerei.

Ao Grupo de pesquisa GesST pelas trocas de conhecimentos e experiências vividas.

Ao laboratório de Microscopia Eletrônica e Escritório de Design LINDS pela parceria e troca de conhecimentos.

À Universidade Estadual de Londrina que se tornou parte da minha vida durante todos esses anos.

A todos que, de forma direta ou indireta, ajudaram  
na realização dessa pesquisa. Meu muito  
obrigado!

***“A persistência é o caminho do êxito.”***

**Charles Chaplin**

LEACHI, Helenize Ferreira Lima. **Protótipo de máscara de proteção respiratória para trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica**. 2022. 83 f. Tese (Doutorado em Enfermagem) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

## RESUMO

Este estudo teve por objetivo desenvolver um protótipo de máscara de proteção respiratória para trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica, ergonômica e sustentável. Para tanto, foram realizados três estudos, com os seguintes objetivos específicos: identificar as evidências disponíveis na literatura em relação à eficácia dos filtros das máscaras N95/PFF2 para proteção contra os componentes químicos e biológicos da fumaça cirúrgica; verificar qual tipo de filtro deverá ser utilizado para a confecção da máscara respiratória para proteção de trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica; descrever o processo de desenvolvimento do protótipo de máscara para proteção da fumaça cirúrgica. Para alcançar o primeiro objetivo específico, foi realizada uma revisão sistemática, desenvolvida de acordo com as recomendações do *Joanna Briggs Institute*. A busca foi realizada em outubro de 2021. O segundo objetivo específico foi alcançado através de um estudo analítico, realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise de uma universidade. Para compor as amostras, foram adquiridas máscaras N95/PFF2 de marcas conhecidas no mercado que estavam disponíveis no hospital no momento do estudo. No laboratório, as amostras foram preparadas para serem avaliadas no aparelho de Microscopia Eletrônica de Varredura. O terceiro objetivo específico foi alcançado através de uma pesquisa aplicada de abordagem quantitativa. Para o desenvolvimento do protótipo da máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica, foi realizada uma pesquisa exploratória empregando métodos e ferramentas baseadas em *design*, constituída por sete etapas, utilizando as ferramentas do Processo de Desenvolvimento de Produtos. Na revisão sistemática, foram identificados 623 artigos, porém, após triagem e elegibilidade, foram incluídos na revisão sistemática três artigos. No segundo estudo, pôde-se verificar que a diferença apresentada está no tamanho das fibras, as fibras da camada filtrante possuem de 1 a  $5\mu\text{m}$  e as fibras das camadas estruturais medem de 15 a  $20\mu\text{m}$ . Foi possível observar aberturas nas tramas da camada filtrante, com variações entre as máscaras. Pode-se sugerir que existam porosidades nas camadas das máscaras, mas, ao mesmo tempo, as fibras são finas e dispostas de forma irregular e em várias direções e em camadas. No terceiro estudo, a partir do molde da prototipagem, tornou-se possível a representação do abstrato para o físico, podendo implementar os conceitos criados nas etapas metodológicas e realizar os ajustes necessários para a criação do modelo de protótipo em que terá o conceito para a comercialização do produto com seu dimensionamento, forma e seus componentes. Concluiu-se com os estudos que as máscaras N95 são capazes de reduzir a exposição à fumaça cirúrgica, desde que as mesmas apresentem uma vedação eficiente na face do usuário. Caso o contrário, as partículas da fumaça cirúrgica podem penetrar, através do vazamento da vedação, na face do usuário. Através da análise de morfologia dos filtros das máscaras N95/PFF2, pode-se realizar a análise de tamanho, distribuição e conformação das fibras. Com o terceiro estudo, foi possível descrever o processo de desenvolvimento de um protótipo de uma máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica, desde a etapa de projeto até o desenvolvimento do protótipo.

**Palavras-chave:** fumaça; equipamento de proteção individual; poluentes ocupacionais do ar; projetos de desenvolvimento tecnológico e inovação.

LEACHI, Helenize Ferreira Lima. **Respiratory protection mask prototype for workers exposed to surgical smoke**. 2022. 83 p. Tese (Doutorado em Enfermagem) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

## ABSTRACT

This study aimed to develop a prototype of a respiratory protection mask for workers exposed to surgical smoke, ergonomic and sustainable. To this end, three studies were carried out with the following specific objectives: to identify the evidence available in the literature regarding the effectiveness of N95/PFF2 masks filters to protect against the chemical and biological components of surgical smoke; to verify which type of filter should be used to make the respiratory mask to protect workers exposed to surgical smoke; to describe the process of developing the prototype of a mask to protect from surgical smoke. To achieve the first specific objective, a systematic review developed according to the *Joanna Briggs Institute* recommendations was carried out. The search was carried out in October 2021. The second specific objective was achieved through an analytical study, carried out in the Laboratory of Electron Microscopy and Microanalysis of a university. To compose the samples, N95/PFF2 masks from well-known brands on the market that were available in the hospital at the time of the study were purchased. In the laboratory, the samples were prepared to be assessed through the Scanning Electron Microscopy device. The third specific objective was achieved through applied and quantitative research. To develop the prototype of the surgical smoke protection mask, exploratory research was carried out using methods and tools based on design, consisting of seven steps, in addition to using the tools of the Product Development Process. In a systematic review, 623 articles were identified, but after screening and eligibility, three articles were included in the systematic review. In the second study, it can be seen that the difference presented is in fiber size, the filtering layer fibers have from 1 to 5 $\mu\text{m}$  and the structural layers fibers are from 15 to 20 $\mu\text{m}$ . It was possible to observe openings in the wefts of the filtering layer, with variations between the masks. It can be suggested that there are porosities in the mask layers, but at the same time, fibers are thin and irregularly arranged and in various directions and in layers. In the third study, from the prototyping mold, it became possible to represent the abstract to the physical, being able to implement the concepts created in the methodological steps and make the necessary adjustments to create a prototype model in which there will be the concept for the commercialization of the product with its dimensioning, shape and its components. It was concluded from the studies that N95 masks are able to reduce exposure to surgical smoke, provided that they present an efficient seal on users' face. Otherwise, surgical smoke particles may penetrate through users' face seal leak. Through the analysis of the morphology of the filters of the N95/PFF2 masks, it is possible to carry out an analysis of the size, distribution and conformation of the fibers. With the third study, it was possible to describe the process of developing a prototype of a protective mask against surgical smoke, from the design stage to prototype development.

**Key words:** smoke; personal protective equipment; air pollutants; occupational; technological development and innovation projects.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### ESTUDO 1

- Figura 1** – Fluxograma de avaliação dos estudos .....29
- Figura 2** – Avaliação do risco de viés dos estudos incluídos na revisão com base na ferramenta *Cochrane Collaboration Risk of Bias*.....33

### ESTUDO 2

- Figura 1** – Preparo do material para análise em aparelho de Microscopia Eletrônica de Varredura .....42
- Figura 2** – Microscopia Eletrônica de Varredura da máscara hospitalar PFF2 (1).....43
- Figura 3** – Microscopia Eletrônica de Varredura da máscara hospitalar PFF2 (2).....43
- Figura 4** – Microscopia Eletrônica de Varredura da máscara hospitalar PFF2/N95 com impregnação de carvão ativado .....44

### ESTUDO 3

- Figura 1** – Processo de inovação em *design* .....53
- Figura 2** – Modelo unificado do Processo de Desenvolvimento de Produtos..57
- Figura 3** – Ferramenta Pessoas, Objetos, Ambiente, Mensagem e Serviços (POAMS) para a utilização do desenvolvimento da máscara de proteção contra fumaça cirúrgica .....60
- Figura 4** – Estudo dos pontos de pressão na face de usuários para o desenvolvimento do protótipo da máscara de proteção contra fumaça cirúrgica.....60
- Figura 5** – Estudo dos tipos de faces para a elaboração do protótipo da máscara para proteção contra fumaça cirúrgica .....61
- Figura 6** – Esboço do *design* do protótipo da máscara (padronagem) para proteção contra fumaça cirúrgica .....62
- Figura 7** – Sugestões de *design* para o protótipo da máscara para proteção contra fumaça cirúrgica .....63
- Figura 8** – Imagens do molde provisório do protótipo de máscara (frente e verso) para proteção contra fumaça cirúrgica .....64

<b>Figura 9</b> – Simulação do uso do molde provisório do protótipo da máscara para proteção contra fumaça cirúrgica .....	64
<b>Figura 10</b> – Medidas faciais sugeridas para máscaras de proteção contra fumaça cirúrgica .....	65
<b>Figura 11</b> – Modelos para definição do conforto interno para o desenvolvimento do protótipo da máscara para proteção contra fumaça cirúrgica .....	65
<b>Figura 12</b> – Processo de verificação dos requisitos selecionados para o desenvolvimento do protótipo da máscara para proteção contra fumaça cirúrgica .....	66
<b>Figura 13</b> – Comparação de medidas do campo de filtragem do protótipo da máscara para proteção contra fumaça cirúrgica .....	67
<b>Figura 14</b> – Modelo do protótipo de máscara para proteção contra fumaça cirúrgica para cada tipo de face .....	67
<b>Figura 15</b> – Protótipo da máscara para proteção respiratória contra fumaça cirúrgica .....	68
<b>Figura 16</b> – Protótipo da máscara de proteção respiratória contra fumaça cirúrgica com variação de cores .....	69

## LISTA DE QUADROS

### ESTUDO 1

- Quadro 1** – Combinação de cruzamentos adotadas para as bases de dados PubMed, *CENTRAL*, *Web of Science* e Scopus .....27
- Quadro 2** – Caracterização dos estudos incluídos na revisão sistemática .....30
- Quadro 3** – Avaliação dos estudos quase-experimentais incluídos na revisão, de acordo com o instrumento de avaliação de qualidade metodológica do JBI para estudos quase-experimentais .....31

### ESTUDO 3

- Quadro 1** – Requisitos necessários para o desenvolvimento do protótipo de máscara para proteção contra fumaça cirúrgica .....58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AORN	<i>Association of periOperative Registered Nurses</i>
CC	Centro Cirúrgico
CINAHL	<i>Cumulative Index of Nursing and Allied Health</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DeCS	Descritores em Ciências da Saúde
EDS	Espectroscopia de Energia Dispersiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
GeeST	Grupo de Estudos em Gestão, Editoração Científica e Saúde do Trabalhador
HPA	Hidrocarboneto Policíclico Aromático
LILACS	Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde
LMEM	Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise
MET	Ministério do Trabalho e do Emprego
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NIOSH	<i>National Institute of Occupational Safety and Health</i>
NR	Normas Regulamentadoras
OIT	Organização Internacional do Trabalho
POEMS	Pessoas, Objetos, Ambiente, Mensagens e Serviços
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses</i>
PROSPERO	<i>International Prospective Register of Systematic Reviews</i>
TPU	Poliuretano Termoplástico

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>1 ESTUDO 1.....</b>	<b>24</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	24
1.2 MÉTODO .....	25
1.3 RESULTADOS.....	29
1.4 DISCUSSÃO .....	33
1.5 CONCLUSÃO .....	36
1.6 REFERÊNCIAS.....	37
<b>2 ESTUDO 2.....</b>	<b>39</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	39
2.2 MÉTODO .....	41
2.3 RESULTADOS.....	42
2.4 DISCUSSÃO .....	45
2.5 CONCLUSÃO .....	47
2.6 REFERÊNCIAS.....	48
<b>3 ESTUDO 3.....</b>	<b>50</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	50
3.2 MÉTODO .....	52
3.3 RESULTADOS.....	58
3.4 DISCUSSÃO .....	69
3.5 CONCLUSÃO .....	71
3.6 REFERÊNCIAS.....	72
<b>4 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>

<b>APÊNDICES</b> .....	78
APÊNDICE A.....	79
<b>ANEXOS</b> .....	82
ANEXO A.....	83

## APRESENTAÇÃO

No período de 2000 a 2003, cursei o curso de enfermagem na Universidade Estadual de Londrina, e, após, fui atuar como enfermeira assistencial. Como adorava atender emergências, fiz uma especialização na área, mas, quando nos formamos, nem sempre trabalhamos com o que gostamos, assim, fui admitida para trabalhar em uma instituição que não tinha um quadro correto de enfermeiros. Fiquei responsável pelo centro cirúrgico e pela Unidade de Terapia Intensiva.

Após alguns anos, deixei a assistência para gerenciar a instituição. Fui responsável por implantar a Comissão de Controle de Infecção Hospitalar (CCIH) da instituição. Sendo assim, necessitei fazer uma especialização em controle de infecção em serviços de saúde.

Quando iniciei a implantação da comissão, verifiquei que os trabalhadores tinham alguns déficits de conhecimento. Assim, decidi implantar uma comissão de educação permanente visando ao desenvolvimento profissional. Nesse momento, o ensino despertou meu interesse, e a vontade de se tornar docente se intensificou em cada treinamento que eu ministrava.

Então, no final do ano de 2015, decidi prestar um teste seletivo para docência, iniciando a minha trajetória na academia. Em 2016, após alguns meses de docência, senti a necessidade da melhoria da minha formação, e ingressei, em 2017, no curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade Estadual de Londrina (PPGEN – UEL), sob a orientação da minha querida orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Perfeito Ribeiro, que me apresentou a fumaça cirúrgica. Pronto, apaixonei-me pelo tema.

Estudei muito, aprendi a fazer pesquisa, participei de congressos e simpósios, realizei parcerias e obtive muito conhecimento com o mestrado. Ao final, em conversa com a minha orientadora, surgiu a proposta de pesquisa de desenvolvimento de um equipamento de proteção individual (EPI) para trabalhadores que estão expostos à fumaça cirúrgica, surgindo, assim, um projeto para o doutorado.

Ingressei no doutorado no ano de 2019, já mais familiarizada com o tema e com a pesquisa, e a minha motivação foi a busca incessante de propor uma tecnologia inovadora para que os trabalhadores pudessem exercer sua atividade laboral com segurança e conforto. Desse projeto, surgiram parcerias e lindos trabalhos de iniciação científica, projetos de mestrado, apresentações em congresso e até mesmo um prêmio de apresentação oral no congresso da Associação Brasileira de Enfermeiros de Centro Cirúrgico, Recuperação Anestésica e Centro de Materiais e Esterilização (SOBECC).

Acredito que a pesquisa é uma grande ferramenta de melhoria e aprimoramento da qualidade dos serviços de enfermagem. Espero que, ao finalizar esta pesquisa, eu possa contribuir favorecendo a melhoria da assistência de enfermagem durante as atividades laborais.

## **CONTEXTUALIZAÇÃO**

A Organização Internacional do Trabalho (OIT) estimou que 2,0 milhões de pessoas morrem todos os anos em virtude de doenças ligadas à atividade profissional (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO, 2021). No último ano, foram registrados no Brasil 571,8 mil acidentes de trabalho, destes sendo 2,5 mil mortes, 153,3 mil afastamentos por doenças relacionadas ao trabalho e 4,1 mil concessões de aposentadoria por invalidez relacionada ao trabalho (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO, 2022).

Com a melhoria das normas regulamentadoras (NR) para segurança do trabalho e do emprego de recursos tecnológicos nas instituições, houve uma diminuição de alguns riscos ocupacionais. Contudo, há alguns riscos provenientes dessas mudanças tecnológicas que ainda afetam a saúde dos trabalhadores (FERREIRA et al., 2018).

O risco ocupacional é entendido como situação que possa afetar de alguma forma a saúde do trabalhador no seu espaço laboral (NAZÁRIO et al., 2017). Na área da saúde, é importante identificar os riscos e avaliar os impactos que podem afetar o trabalhador, com a finalidade de realizar ações preventivas, evitando-se o

estabelecimento de danos potenciais. Os gestores devem antecipar os perigos, por meio de ações que bloqueiem, controlem e eduquem os trabalhadores envolvidos, aumentando o nível de conscientização para a segurança e saúde ocupacional (GREGÓRIO, 2017).

Agentes químicos, físicos e biológicos, se presentes no ambiente de trabalho, são considerados riscos ambientais, pois, dependendo de sua natureza, concentração, intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador (FERREIRA et al., 2018). Nesse sentido, as NR, instituídas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), apresentam diretrizes que visam proteger o trabalhador em seu ambiente de trabalho. Dentre as normas, destacam-se a NR 9, que estabelece o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), e a NR 32, que estabelece medidas de proteção à segurança e à saúde no trabalho de serviços de saúde (NORMA REGULAMENTADORA 9, 2022; NORMA REGULAMENTADORA 32, 2022).

Dentre as diversas circunstâncias em que os trabalhadores dos serviços de saúde estão expostos, o cuidado no centro cirúrgico (CC) é uma das formas de trabalho em que há exposição a riscos, como poluição sonora, vapores químicos, agentes infecciosos (De MORAES JUSTINIANO et al., 2020) e estresse aumentado (JACQUES et al., 2018).

Dentre os riscos ocupacionais químicos no CC aos quais o trabalhador está exposto, destaca-se o proveniente da fumaça cirúrgica gerada pelo eletrocautério. O eletrocautério é um método seguro e preciso, utilizado para a coagulação de pequenos vasos, reduzindo a perda de sangue intraoperatório e incidência de lesões para cirurgias (FITZGERALD et al., 2014). Mesmo com essas vantagens, o eletrocautério envolve riscos à equipe operatória, como a geração da fumaça cirúrgica, pois essa fumaça é formada por diversos compostos químicos na forma de gás e de componentes de partículas (LIU et al., 2019).

As funções do eletrocautério são a coagulação, a dissecação e a fulguração. Todas as funções produzem um grau variável de fumaça cirúrgica, que é inalada pelas pessoas envolvidas no procedimento, e tem sido considerada um perigo potencial para a saúde (BHATT et al., 2016).

Além disso, esse risco é ainda desconhecido pelo trabalhador, equipe cirúrgica e gestor, o que faz com que não tenha preocupação com o risco e, portanto, não adote medidas preventivas.

A fumaça cirúrgica é composta por 95% de água ou vapor e 5% de detritos celulares sob a forma de material particulado. A matéria em partículas é composta por substâncias químicas, sangue e tecido, vírus e bactérias (BHATT et al., 2016).

A quantidade e o conteúdo da fumaça gerada podem variar muito de procedimento para procedimento. O tamanho das partículas presentes na fumaça cirúrgica também pode variar, pois, quanto menor o tamanho da partícula, maiores distâncias podem alcançar do ponto de onde foram produzidas, em torno de um metro de distância. Em geral, as partículas menores são mais preocupantes do ponto de vista químico, e as partículas maiores são mais preocupantes do ponto de vista biológico. As partículas maiores que  $100 \mu m$  permanecem no ar, as de  $5$  a  $2 \mu m$  são depositadas nas vias aéreas (parede do nariz, laringe, traqueia e brônquios), enquanto as de  $2 \mu m$  ou menores atingem os bronquíolos e os alvéolos e lá ficam depositados (BARRET; GARBER, 2003; BHATT et al., 2016).

Entre os sinais e sintomas relatados em pesquisas realizadas com a fumaça cirúrgica, encontram-se irritação na garganta, lacrimejamento dos olhos (UNVER, TOPÇU, FINDIK, 2016), tontura, cefaleia, náusea, vômitos (ALP et al., 2006; UNVER, TOPÇU, FINDIK, 2016), ardência de faringe, sensação de corpo estranho na garganta e congestão nasal (MEZA et al., 2013).

As máscaras cirúrgicas simples, as mais comumente utilizadas nos CC, podem proteger os profissionais de saúde contra a inalação de fumaça cirúrgica. Normalmente, são confeccionadas com três camadas de filtro e são capazes de atingir eficiência de 95-99% para filtração bacteriana e de 91-95% para filtração de partículas (FAN; CHAN; CHU, 2009).

A principal desvantagem das máscaras cirúrgicas simples é que não proporcionam ajuste adequado ao rosto do usuário, por apresentarem pontos soltos entre o rosto e a máscara, facilitando, desta forma, que a fumaça penetre nas vias respiratórias dos expostos (FAN; CHAN; CHU, 2009).

Esse tipo de máscara deve ser utilizado como uma barreira para proteger a face do usuário de grandes gotas e respingos de fluidos corporais, como sangue, saliva, secreções respiratórias do usuário, microrganismos e partículas grandes no ar (OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETH, 2014).

A outra alternativa de proteção para o trabalhador exposto à fumaça cirúrgica é o uso de um respirador de classe N, que é projetado para filtrar partículas de até aproximadamente  $0,3 \mu\text{m}$ , podendo atingir 95% de eficiência de filtração. Os respiradores com grau N95 fornecem a melhor proteção contra a fumaça cirúrgica produzida durante o uso de eletrocautério, pois possui um filtro eficiente e vedação na face, o que impede o vazamento de partículas através da face (ELMASHAE et al., 2018; OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETH, 2014).

O tipo de respirador N95 também deve ser utilizado quando existe a exposição potencial a contaminantes aéreos e agentes infecciosos, para a filtração das partículas desses agentes, protegendo, assim, o trabalhador de uma possível contaminação. (BENSON; NOVAC; OGG, 2013), pois forma uma vedação firme na boca e no nariz do usuário e é capaz de filtrar 95% das partículas com um diâmetro médio de massa de  $0,3 \mu\text{m}$  (OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETH, 2014).

Embora cada instituição tenha sua própria política para o uso de EPIs, as máscaras cirúrgicas simples, em geral, devem ser descartadas após cada turno de trabalho ou se apresentarem algum dano na estrutura ou umidade. As máscaras N95 devem ser descartadas conforme as condições de uso e o tipo de perigo ao qual esses produtos estão sendo usados (CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2022).

Na última década, relatórios indicaram que os trabalhadores da saúde têm uma adesão abaixo do ideal (ou seja, menos de 60%) às precauções recomendadas de controle de infecção, como o uso de EPI respiratório (BENSON; NOVAC; OGG, 2013; COLLINS et al., 2021).

Os trabalhadores que utilizam a máscara N95 durante seus procedimentos e por tempo prolongado alegam que o uso causa dor de cabeça, ansiedade, tontura e restrição do fluxo de ar. Devido a esses desconfortos e

incômodos, ao utilizar a máscara, muitos a retiram durante o turno de trabalho (GARRA, PARMENTIER, GARRA, 2021).

Outros estudos indicam alguns argumentos dos trabalhadores para a não utilização do respirador N95, como a experiência profissional, que gera uma falsa sensação de autoproteção e autossuficiência, o desconforto que a máscara proporciona, a dificuldade do armazenamento da máscara, que causa dobras e deformidades na estrutura do equipamento (DUARTE et al., 2010), além da necessidade do controle do tempo de uso para este tipo de EPI.

Considerando que a máscara respiratória N95 apresenta desconforto constantemente relatado pelos profissionais que a utiliza, após uso, se não guardada adequadamente, pode danificar o filtro e não favorecer a sustentabilidade do meio ambiente, por ser um produto descartável. Torna-se importante o desenvolvimento de uma máscara eficaz, ergonômica e sustentável, para a proteção respiratória do trabalhador exposto à fumaça gerada pelo eletrocautério.

Deste modo, o principal benefício relacionado ao desenvolvimento da pesquisa é desenvolver um produto que irá trazer maior proteção e segurança para o trabalhador desenvolver duas atividades laborais.

Pretende-se desenvolver um produto que, por questões técnicas de segurança, tenha material seja sustentável, a fim de dirimir o impacto ambiental. Quanto aos impactos socioeconômicos, pretende-se desenvolver um produto com valor mais acessível aos atualmente comercializados.

Assim, surgiu a seguinte questão de pesquisa: é possível desenvolver um protótipo de máscara, ergonômica e sustentável, para proteção respiratória de trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica?

## **Objetivo geral**

Desenvolver um protótipo de máscara de proteção respiratória, ergonômica e sustentável, para trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica.

### **Objetivos específicos**

- Identificar as evidências disponíveis na literatura em relação à eficácia dos filtros das máscaras N95/PFF2 para proteção contra os componentes químicos e biológicos da fumaça cirúrgica;
- Verificar qual o tipo de filtro deverá ser utilizado para a confecção da máscara respiratória para proteção de trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica;
- Descrever o processo de desenvolvimento do protótipo de máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica.

Para tanto, esta tese será apresentada em três estudos, que embasam os objetivos apresentados acima: 1. Eficácia da máscara N95 na filtração de componentes da fumaça cirúrgica: revisão sistemática; 2. Filtro de máscaras de proteção respiratória: estudo de Microscopia Eletrônica de Varredura; 3. Máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica: desenvolvimento de um protótipo.

## 1 ESTUDO 1

### EFICÁCIA DA MÁSCARA N95 NA FILTRAÇÃO DE COMPONENTES DA FUMAÇA CIRÚRGICA: REVISÃO SISTEMÁTICA

#### RESUMO

**Objetivo:** identificar a eficácia da máscara N95 na filtração de partículas de componentes químicos e biológicos presentes na fumaça cirúrgica. **Método:** trata-se de uma revisão sistemática, desenvolvida de acordo com as recomendações do *Joanna Briggs Institute, Manual for Evidence Synthesis* para revisões sistemáticas de eficácia e das diretrizes do *checklist Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses*. O protocolo da revisão foi registrado na plataforma *International Prospective Register of Systematic Reviews*. A busca foi realizada nas bases MEDLINE via PubMed, *Cumulative Index of Nursing and Allied Health*, *Cochrane Central Register of Controlled Trials*, EMBASE, Scopus, *Web of Science* e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde. A busca foi realizada em outubro de 2021, utilizando o *website* da Comunidade Acadêmica Federada. **Resultados:** foram identificados 623 artigos, porém, após triagem e elegibilidade, foram incluídos na revisão sistemática três artigos. Com base na utilização da ferramenta *Cochrane Collaboration Risk of Bias*, foi possível afirmar que os estudos incluídos na revisão possuem baixo risco de viés, e todos são artigos internacionais, publicados no idioma inglês. **Conclusão:** as máscaras N95 são capazes de reduzir a exposição à fumaça cirúrgica, desde que as mesmas apresentem uma vedação eficiente na face do usuário. Caso o contrário, as partículas da fumaça cirúrgica podem penetrar, através do vazamento da vedação, na face do usuário.

**Descritores:** Respiradores N95; Fumaça; Filtração; Poluentes ocupacionais do ar.

#### 1.1 INTRODUÇÃO

A fumaça cirúrgica é um aerossol perigoso exclusivo da sala cirúrgica. Ela é gerada por meio da utilização do eletrocautério durante o procedimento cirúrgico. Nessa fumaça, há material particulado que pode causar efeitos adversos à saúde dos expostos (LIMCHANTRA et al, 2019).

Quando o material particulado é inalado, o mesmo pode causar consequências adversas para os sistemas respiratório, circulatório e nervoso. A Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos da América afirma que materiais particulados menores de  $10\mu\text{m}$  podem ser inalados e causar irritação e complicações ao longo prazo (BUTLER, 2016).

Os trabalhadores do centro cirúrgico (CC) devem adotar medidas para minimizar sua exposição à fumaça cirúrgica e se proteger. A *Association of periOperative Registered Nurses (AORN)* fornece diretriz, abrangendo os riscos da exposição à fumaça cirúrgica, e descreve as etapas que os membros das equipes podem adotar para impedir essa exposição, dentre as quais se encontra a utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI) (SPRUCE, 2018).

O EPI recomendado para esta exposição ocupacional é a máscara N95, pois a mesma filtra 95% dos contaminantes do ar, aprovada pelo *National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)*, porém a mesma deve estar bem encaixada no rosto do usuário para a vedação completa da face.

A máscara comumente utilizada pelos trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica é a máscara cirúrgica simples, mas essas não fornecem proteção adequada contra os componentes perigosos da fumaça cirúrgica, pois não se encaixam de maneira adequada nos rostos dos usuários, permitindo que as partículas atinjam o nariz e a boca e sejam inaladas (BREE et al., 2017).

A máscara N95 é testada e considerada uma máscara de alta filtração (AORN, 2018). No entanto, essa recomendação não é requisito regulatório e o uso é limitado a procedimentos considerados infectocontagiosos. Tal máscara pode não capturar gases e vapores presentes na fumaça cirúrgica, pela falta do filtro para adsorção dos componentes químicos (ROZZI et al., 2012; GAO et al., 2016).

Considerando que a máscara respiratória deve ser um equipamento que traga proteção ao usuário, evitando o desenvolvimento de doenças, o presente estudo teve como objetivo identificar a eficácia da máscara N95 na filtração de partículas de componentes químicos e biológicos presentes na fumaça cirúrgica.

## **1.2 MÉTODO**

Trata-se de uma revisão sistemática, desenvolvida de acordo com as recomendações do *Joanna Briggs Institute Manual for Evidence Synthesis* (TUFANARU et al., 2020) para revisões sistemáticas de eficácia e das diretrizes do *checklist Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses (PRISMA)* (PAGE et al., 2020).

O protocolo da revisão foi registrado na plataforma *International Prospective Register of Systematic Reviews* (PROSPERO), sob o número CRD42021283517.

Para a construção da questão norteadora, foi utilizada a estratégia PICO (*Population, Intervention, Comparison e Outcome*), sendo P = partículas de componentes químicos e biológicos presentes na fumaça cirúrgica, I = máscaras N95/Pff2, C = máscaras cirúrgicas/Equipamento de proteção individual, O = filtração das partículas de componentes químicos e biológicos presentes na fumaça cirúrgica. Assim, a questão norteadora da revisão foi: a máscara N95 é eficaz para a filtração de partículas de componentes químicos e biológicos presentes na fumaça cirúrgica?

Foram incluídos estudos que atendessem à estratégia PICO, excluindo todos os outros que não abordaram a fumaça cirúrgica, considerando os estudos de delineamento experimental com ou sem randomização. Ressalta-se que, para a seleção dos estudos, não foram estabelecidas limitações de idioma ou de período de publicação.

A busca foi realizada nas bases de dados MEDLINE via PubMed, *Cumulative Index of Nursing and Allied Health* (CINAHL), *Cochrane Central Register of Controlled Trials* (CENTRAL), EMBASE, Scopus, *Web of Science* e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS).

A busca foi realizada em outubro de 2021, utilizando o *website* da Comunidade Acadêmica Federada (CAPES CAFE).

Foram realizadas diversas combinações, empregando os descritores controlados, palavras-chave e operadores booleanos AND e OR, para identificar o maior número de publicação antes da realização da busca final dos estudos nas bases de dados selecionadas, para compor a revisão sistemática. Para isso, as combinações adotaram os componentes da estratégia PICO. A combinação final adotada para as bases de dados PubMed, *CENTRAL*, *Web of Science* e Scopus foi utilizando os descritores controlados do *Medical Subject Headings* (MeSH), ficando conforme demonstrado no Quadro 1:



	<p><i>Therapy)) OR (Laser Therapies)) OR (Therapies, Laser)) OR (Therapy, Laser)) OR (Vaporization, Laser)) OR (Laser Vaporization)) OR (Laser Ablation)) OR (Ablation, Laser)) OR (Laser Tissue Ablation)) OR (Ablation, Laser Tissue)) OR (Tissue Ablation, Laser)) OR (Pulsed Laser Tissue Ablation)) OR (Laser Photoablation of Tissue)) OR (Nonablative Laser Treatment)) OR (Laser Treatment, Nonablative)) OR (Laser Treatments, Nonablative)) OR (Nonablative Laser Treatments)) OR (Laser Scalpel)) OR (Laser Scalpels)) OR (Scalpel, Laser)) OR (Scalpels, Laser)) OR (Laser Knives)) OR (Knife, Laser)) OR (Knives, Laser)) OR (Laser Knife)) OR (Laser Knife)) OR (Knife, Laser)) OR (Knives, Laser)) OR (Laser Knives)) OR (Laser Surgery)) OR (Laser Surgeries)) OR (Surgeries, Laser)) OR (Surgery, Laser)) Filters: Clinical Trial, Randomized Controlled Trial.</i></p>
--	--

Fonte: próprio autor.

Nas bases de dados LILACS, EMBASE e CINAHL, a estratégia de busca foi semelhante, porém os descritores controlados foram utilizados de acordo com a base de dados, como DeCS (Descritores em Ciências da Saúde), Emtree e CINAHL *Headings*.

A busca foi realizada pelo pesquisador principal, que, após a remoção dos artigos duplicados, encaminhou os resumos dos artigos encontrados ao segundo revisor, para a realização da avaliação de forma cega. Assim, os artigos foram avaliados por dois revisores quanto ao título e resumo, aplicando os critérios de elegibilidade, e, em caso de divergência entre os revisores, um terceiro revisor foi consultado para resolver os questionamentos.

Subsequentemente, os resumos retornaram ao pesquisador principal, e o mesmo disponibilizou os artigos na íntegra para serem avaliados, de forma independente, pelos dois revisores, e, novamente, em casos de divergência, foi consultado um terceiro revisor.

Em seguida, realizou-se a análise crítica dos artigos na íntegra. Após ser observada a incipiência dos artigos, foram analisadas as referências dos artigos incluídos, porém não houve acréscimo na amostra final.

Foi utilizado um instrumento elaborado pelos autores para a coleta de dados dos artigos incluídos. Este instrumento continha nome dos autores, ano de publicação, país, objetivo, delineamento metodológico, participantes da pesquisa, resultados e conclusão. Também foi classificado o nível de evidência dos estudos

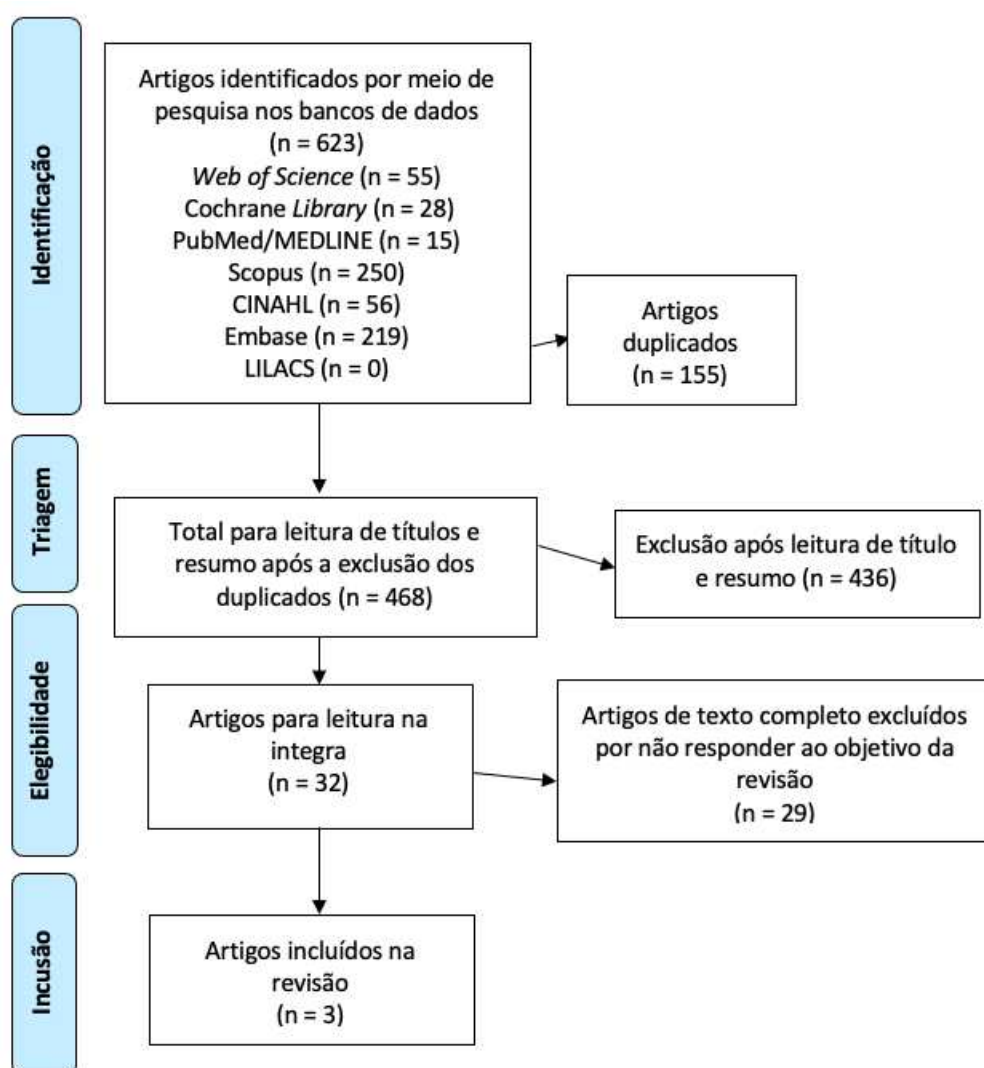
incluídos (MELNIK, 2011). A seleção e a inclusão dos estudos foram demonstradas a partir das recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses* (PRISMA).

Foi utilizado o instrumento de avaliação crítica do JBI para avaliação metodológica. Foi avaliada a heterogeneidade entre os estudos, considerando as características metodológicas (os tipos de intervenção, os grupos de participantes e o risco de viés) e estatísticas (medidas de resultado).

### 1.3 RESULTADOS

Na Figura 1, demonstram-se a identificação, a triagem e a inclusão dos estudos, seguindo as recomendações do PRISMA.

**Figura 1** – Fluxograma de avaliação dos estudos. Brasil, 2021



Fonte: adaptado do fluxograma PRISMA.

Com base na utilização da ferramenta, é possível afirmar que os estudos incluídos na revisão possuem baixo risco de viés, todos são artigos internacionais, publicados no idioma inglês, apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2:** Caracterização dos estudos incluídos na revisão sistemática. Brasil, 2021

Autor/ano/país/ tipo de estudo/ nível de evidência	Objetivo	Participantes da pesquisa/tipo de intervenção	Principais resultados
Gao S, et al. (2016) EUA  Estudo quase- experimental  Nível de evidência: 3	Investigar o desempenho das máscaras cirúrgicas rotineiramente usadas em salas de operação, (respirador N95 e N100) contra a fumaça cirúrgica.	10 pessoas: 5 homens e 5 mulheres adultas.  Utilizando as máscaras de proteção selecionadas aleatoriamente.  Dissecção de tecido muscular suíno para geração da fumaça cirúrgica.	Máscara cirúrgica: não fornece proteção mensurável. N95: são capazes de reduzir a exposição por inalação a fumaça cirúrgica, porém o tamanho da partícula não foi um fator significativo que afeta o desempenho, pois o vazamento foi a principal via de penetração para as partículas cirúrgicas. N100 e versões de controle (protótipo): ofereceram a mais alta proteção, pois o tamanho da partícula foi um fator significativo, o que sugere que a via de penetração do filtro provavelmente dominou o componente de vazamento.
Rozzi T, et al. (2012) EUA  Estudo quase- experimental  Nível de evidência: 3	Determinar as características ou capacidades de adsorção de hidrocarbonetos aromáticos em respiradores faciais descartáveis certificados pela NIOSH, com alívio de incômodo de vapores orgânicos. Determinar os tempos de avanço para três hidrocarbonetos aromáticos frequentemente encontrados na fumaça cirúrgica.	Três modelos de respiradores faciais descartáveis.  Foram realizados três testes duplicados, em que os respiradores foram expostos, individualmente, à concentração de vapores orgânicos (benzeno, tolueno e xileno) em uma câmara.	Os modelos de respiradores faciais descartáveis com alívio de incômodo de vapores orgânicos foram capazes de adsorver hidrocarbonetos aromáticos em níveis de exposição de 20 ppm, o que está acima bem acima dos níveis de exposição médicos na fumaça cirúrgica. Todos os respiradores mantiveram um tempo de avanço de 10% de pelo menos 1 hora.  A tecnologia de captura de vapores orgânicos comercialmente disponíveis encontrada na indústria em geral pode ser aplicável ao setor de saúde. A tecnologia de carvão ativado, que está atualmente no mercado para uso na indústria, pode ser aplicável no desenvolvimento de novas tecnologias de respirador específicos para profissionais de saúde.
Elmashae Y, et al. (2018) EUA  Estudo quase- experimental  Nível de evidência: 3	Avaliar a exposição de profissionais de saúde desprotegidos à fumaça cirúrgica, medindo a concentração numérica e a	10 indivíduos que avaliaram o modelo. Entre 18 e 60 anos, estudantes e membros da equipe. Todos os indivíduos foram treinados para realizar a dissecção	Os dados de distribuição granulométrica coletados usando quatro espectrômetros de aerossol revelaram tendências semelhantes, embora tenham sido observadas diferenças. O pico das distribuições de tamanho de partícula estava em uma faixa de 60 a 150 nm. A concentração de partículas geradas durante o procedimento cirúrgico simulado excedeu

	distribuição granulométrica do aerossol de fumaça na zona de respiração humana. Além disso, comparar o desempenho dos respiradores com filtro de peça facial N95 nova/usada existente, desenvolvida para salas de cirurgia contra a fumaça cirúrgica.	por um cirurgião credenciado.  Os testes foram realizados em uma câmara de exposição simulada de sala de cirurgia, com a fumaça cirúrgica sendo gerada por equipamentos de eletrocautério aplicados ao tecido animal, medida na zona de respiração com quatro espectrômetros de aerossol. O fator de proteção no local de trabalho simulado de cada respirador testado foi determinado para dez indivíduos, medindo as concentrações totais de aerossol dentro e fora de um respirador.	a concentração de fundo em cerca de três ordens de magnitude, sob as condições de troca de ar testadas, apontando para uma exposição considerável por inalação ao aerossol, gerado por eletrocautério, em uma sala de cirurgia. A proteção respiratória com facetas N95 é capaz de reduzir a exposição cirúrgica à fumaça em uma sala de cirurgia.  O uso do respirador N95 modificado melhora significativamente a proteção respiratória dos indivíduos contra a fumaça cirúrgica, em comparação com o respirador comercial N95. A diferença é atribuída à capacidade da nova tecnologia de selo facial de reduzir o vazamento do selo facial do respirador, que tem sido reconhecido como a principal via para partículas penetrando no respirador.
--	---	---	---

Fonte: próprio autor.

A avaliação crítica da qualidade metodológica, de acordo com o instrumento de avaliação do JBI para estudos quase-experimentais, está apresentada no Quadro 3.

**Quadro 3:** Avaliação dos estudos quase-experimentais incluídos na revisão, de acordo com o instrumento de avaliação de qualidade metodológica do JBI para estudos quase-experimentais. Brasil, 2021

Pergunta do instrumento	Elmashae et al, 2018	Gao et al, 2016	Rozzi et al, 2012
1. Está claro no estudo qual é a “causa” e qual é o “efeito” (ou seja, não há confusão sobre qual variável vem primeiro)?	Sim	Sim	Sim
2. Os participantes foram incluídos em alguma comparação semelhante?	Sim	Sim	Sim
3. Os participantes foram incluídos em alguma comparação que recebeu tratamento/cuidado	Sim	Sim	Sim

semelhante, além da exposição ou intervenção de interesse?			
4. Havia um grupo de controle?	Não	Não	Não
5. Houve várias medições do desfecho pré e pós-intervenção/exposição?	Sim	Sim	Sim
6. O acompanhamento foi completo e, em caso negativo, as diferenças entre os grupos em termos de acompanhamento foram adequadamente descritas e analisadas?	Sim	Sim	Sim
7. Os resultados dos participantes foram incluídos em alguma comparação medidos da mesma maneira?	Sim	Sim	Sim
8. Os resultados foram medidos de forma confiável?	Sim	Sim	Sim
9. Foi utilizada a análise estatística apropriada?	Sim	Sim	Sim

**Fonte:** adaptado do Instrumento de Avaliação JBI para estudos quase-experimentais – as questões são as do instrumento.

Os artigos presentes na literatura atenderam a maioria dos questionamentos indicados pelo instrumento utilizado, sendo que apenas o item 4 não foi atendido pelos três artigos, portanto, os artigos foram considerados de boa qualidade.

Todos os artigos foram analisados em relação ao risco de viés, com base na ferramenta *Cochrane Collaboration Risk of Bias*, como risco baixo, alto ou pouco claro. Essa avaliação está demonstrada na Figura 2.

**Figura 2:** Avaliação do risco de viés dos estudos incluídos na revisão com base na ferramenta da *Cochrane Collaboration Risk of Bias*. Brasil, 2021



Fonte: próprio autor.

#### 1.4 DISCUSSÃO

Os estudos quase-experimentais que foram incluídos na amostra da presente revisão indicaram que a principal via de penetração de partículas nas vias respiratórias dos indivíduos expostos à fumaça cirúrgica é por meio da vedação facial inadequada.

Na composição da fumaça cirúrgica, o tamanho das partículas é influenciado por vários fatores, como o tipo de procedimento cirúrgico, instrumentação cirúrgica, duração da cirurgia e até mesmo o tempo do uso do eletrocautério.

Em dois estudos, os tamanhos das partículas encontradas durante a simulação estavam entre 0,01 e 0,2  $\mu m$  (ELMASHAE et al., 2018; GAO et al., 2016), corroborando com a informação de que os contaminantes da fumaça cirúrgica estão dentro da faixa de tamanho de 0,01 a 5  $\mu m$  e compõem 5% da fumaça, incluindo fragmentos de sangue, bactérias, vírus e produtos químicos (ULMER, 2008).

As máscaras N95 possuem filtro certificado pelo NIOSH para não permitir mais que 5% de penetração de partículas, porém a penetração de partículas ultrafinas ( $<0,1 \mu m$ ) pode exceder esse limite (BALAZY et al, 2006). Os filtros usados nas máscaras de alta eficiência, como a N95, oferecem proteção contra partículas muito pequenas e contra as partículas maiores, e, por esse motivo, a AORN recomenda o uso da máscara N95 durante os procedimentos.

Nos estudos, foi demonstrado que houve penetração de partículas para dentro da máscara, porém os resultados sugeriram que a principal via de penetração foi o vazamento pela vedação de face, tanto das máscaras N95 como das máscaras cirúrgica (GAO et al., 2016; ELMASHAE et al., 2018).

Em estudo anterior, foi investigado o efeito protetor das máscaras N95 contra partículas infecciosas, e o mesmo relatou altas taxas de vazamento. Fatores, como sexo, forma do rosto, fluxo respiratório e movimento do usuário, afetaram o nível de vazamento das máscaras (HUH et al., 2018).

As máscaras utilizadas em instituições de saúde podem variar nos tipos e nas formas, e também as formas das faces dos trabalhadores podem variar (PARK et al., 2021). Portanto, é importante e necessário selecionar uma máscara que se ajuste adequadamente à face do usuário, e, para isso, devem ser realizados testes de ajuste, que estão disponíveis no mercado, para verificar se há vazamentos antes da exposição dos trabalhadores a agentes nocivos, como a fumaça cirúrgica.

As máscaras modificadas apresentadas nos estudos, que são máscaras denominadas N100, e uma máscara, que foi recém desenvolvida pelos pesquisadores, ofereceram maior proteção respiratórias aos indivíduos expostos à

fumaça cirúrgica, em comparação às máscaras N95 encontradas no mercado (GAO et al., 2016; ELMASHAE et al., 2018). A diferença foi a capacidade de vedação da face do usuário que essas máscaras apresentaram. A máscara N100 é uma máscara com alto grau de filtração, porém essa máscara tem limitação de implantação em sala cirúrgica, devido à sua válvula expiratória (GAO et al., 2016).

Os protótipos desenvolvidos e modificados das máscaras N95 forneceram uma melhor proteção, devido ao melhor ajuste da máscara ao rosto do usuário. Esse é um achado que pode ter relevância para novos *designs* de máscaras do tipo N95, uma vez que o vazamento da vedação da face foi a via predominante de penetração de partículas de fumaça das máscaras que foram testadas (GAO et al., 2016). Isso representa um avanço importante ao projeto de máscara de proteção respiratória para o pessoal da sala de cirurgia.

Os componentes químicos presentes na fumaça cirúrgica podem desencadear doenças, devido à capacidade de gerar mutação nas células de indivíduos expostos a esses compostos. Na literatura, há evidências que máscaras N95 com carvão ativado foram capazes de adsorver hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) em níveis de exposição acima dos níveis medidos pela fumaça cirúrgica.

Os resultados de um dos estudos indicaram que as máscaras projetadas para diminuir os odores durante os processos industriais, máscaras que contêm a impregnação do carvão ativado nas fibras do filtro, podem reduzir a exposição dos trabalhadores a compostos químicos presentes na fumaça cirúrgica (ROZZI et al., 2012). Porém, são necessárias pesquisas mais aprofundadas para confirmar esses resultados.

As máscaras N95 são capazes de reduzir a exposição por inalação da fumaça cirúrgica, pois o vazamento da vedação de face foi a principal via de penetração para as partículas da fumaça. Desse modo, o tamanho das partículas não foi um fator significativo que afetasse o desempenho das máscaras cirúrgicas e máscaras N95.

Outra solução simples fornecida por um dos estudos foi a utilização de máscara que contém impregnação de carvão ativado, para reduzir a exposição dos

trabalhadores a HPA e compostos orgânicos voláteis (COV), pois o mesmo foi capaz de adsorver os compostos presentes na fumaça cirúrgica.

Como limitação desta revisão, destaca-se que não foi possível realizar uma metanálise com os estudos, devido à sua heterogeneidade. Além disso, houve uma pequena quantidade de estudos sobre o tema, tornando-se necessárias pesquisas futuras para confirmar os achados dos estudos.

Embora o presente estudo tenha abordado especificamente a fumaça cirúrgica, os achados aqui descritos podem ter aplicação em vários cenários de saúde pública em que envolve exposição dos trabalhadores a aerossóis infecciosos, visto que as máscaras N95 são utilizadas para a proteção desse trabalhador para vários vírus que causam doença e estão na mesma faixa de tamanho de partículas presentes na fumaça cirúrgica.

## **1.5 CONCLUSÃO**

As máscaras N95 são capazes de reduzir a exposição à fumaça cirúrgica, desde que as mesmas apresentassem uma vedação eficiente na face do usuário. Caso o contrário, as partículas da fumaça cirúrgica podem penetrar, através do vazamento da vedação, na face do usuário. As máscaras N95 modificadas e N100 foram as que tiveram o melhor resultado, pois possuem uma boa vedação na face do usuário. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de uma máscara de proteção respiratória contra a fumaça cirúrgica que seja projetada para vedar a face do usuário com precisão, evitando, assim, a penetração da fumaça cirúrgica pelas vias aéreas do usuário, que não seja por meio do filtro utilizado nas máscaras.

As máscaras que contêm impregnação de carvão ativado podem ser um grande aliado para diminuir a exposição dos trabalhadores às partículas químicas da fumaça cirúrgica, porém ainda há a necessidade de mais investigações para determinar a eficácia dos mesmo para os vapores orgânicos.

## 1.6 REFERÊNCIAS

BALAZY, Anna *et al.* Manikin-based performance evaluation of N95 filtering-facepiece respirators challenged with nanoparticles. **The Annals of Occupational Hygiene**, v.50, n. 3, p. 259–269, 2006.

BREE, Kevin; BARNHILL, Spencer; RUNDELL, Willian. The Dangers of Electrosurgical Smoke to Operating Room Personnel: A Review. **Workplace Health & Safety**, v. 65, n. 11, p. 517-526, 2017.

BUTLER, D. **Health Risks of Indoor Exposure to Particulate Matter: Workshop Summary**. Washington, DC: National Academies Press, 2016.

ELMASHAE, Y. *et al.* Surgical smoke simulation study: Physical characterization and respiratory protection. **Aerosol Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 38-45, 2018.

GAO, S. *et al.* Performance of Facepiece Respirators and Surgical Masks Against Surgical Smoke: Simulated Workplace Protection Factor Study. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 60, n. 5, p. 608–618, 2016.

HUH, Y.J. *et al.* Fit characteristics of N95 filtering facepiece respirators and the accuracy of the user seal check among Koreans. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 39, n. 1, p. 104–107, 2018.

LIMCHANTRA, I.V.; FONG, Y.; MELSTROM, K.A. Surgical smoke exposure in operating room personnel: a review. **JAMA Surgery**, v. 154, n. 10, p. 960–967, 2019.

MELNYK, B.M.; FINEOUT-OVERHOLT, E. **Evidence-based practice in nursing & healthcare: a guide to best practice**. 2. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2011.

PAGE, M.J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **The BMJ**, v. 372, n. 71, 2021.

PARK, J.J.; SEO, Y.B.; LEE, J. Fit Test for N95 Filtering Facepiece Respirators and KF94 Masks for Healthcare Workers: a Prospective Single-center Simulation Study. **Journal of Korean Medical Science**, v. 36, n. 21, p. e140, 2021.

ROZZI, T.; SNYDER, J.; NOVAK, D. Pilot Study of Aromatic Hydrocarbon Adsorption Characteristics of Disposable Filtering Facepiece Respirators that Contain Activated Carbon. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 9, n. 11, p. 624-629, 2012.

SPRUCE, L. Back to Basics: Protection from surgical smoke. **AORN Journal**, v. 108, n. 1, p. 24-32, 2018.

TUFANARU, C. et al. Chapter 3: Systematic reviews of effectiveness. In: AROMATARIS, E.; MUNN, Z. (Editors). *JBI Manual for Evidence Synthesis*. **JBI**, 2020.

ULMER, B.C. The hazards of surgical smoke. **AORN Journal**, v. 87, n. 4, p. 721-734, 2008.

## 2 ESTUDO 2

### FILTRO DE MÁSCARAS DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA: ESTUDO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA\*

\*ESTUDO PUBLICADO NA *RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT*

#### RESUMO

**Objetivo:** analisar, por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura, a morfologia dos filtros das máscaras N95/PFF2 com e sem carvão ativado. **Método:** estudo analítico, realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise de uma universidade localizada no norte do Paraná. Para compor as amostras, foram adquiridas máscaras de marcas conhecidas no mercado que estavam disponíveis no hospital universitário no momento do estudo: máscara PFF2 com carvão ativado, máscara PFF2/equivalente N95. No laboratório, as amostras foram recortadas e preparadas para serem avaliadas no aparelho de Microscopia Eletrônica de Varredura. **Resultados:** todas as máscaras apresentaram quatro camadas de fibras sintéticas de polipropileno. Pode-se verificar que a diferença apresentada está no tamanho das fibras; as fibras da camada filtrante possuem de 1 a  $5\mu m$ ; e as fibras das camadas estruturais medem de 15 a  $20\mu m$ . Foi possível observar aberturas nas tramas da camada filtrante, com variações entre as máscaras. Pode-se sugerir que existam porosidades nas camadas das máscaras, mas, ao mesmo tempo, as fibras são finas e dispostas de forma irregular e em várias direções e em camadas. **Conclusão:** pode-se analisar a morfologia dos filtros das máscaras N95/PFF2 através da análise de tamanho, distribuição e conformação das fibras. Os resultados indicam que os trabalhadores que utilizarem uma máscara de alta eficiência tipo N95/PFF2, com carvão ativado, durante a exposição diária à fumaça cirúrgica, diminui a inalação de materiais particulados que são prejudiciais à saúde a longo prazo. **Descritores:** Dispositivos de proteção respiratória. Equipamento de proteção individual. Respiradores N95. Filtros de ar. Material particulado. Exposição ocupacional. Saúde do trabalhador.

#### 2.1 INTRODUÇÃO

Uma das medidas universais, que tem por objetivo formar uma barreira de proteção e segurança ao trabalhador, é a utilização de uma proteção respiratória, ou seja, a utilização de um equipamento de proteção respiratória. A fim de determinar o tipo de proteção respiratória a ser utilizado, é realizada uma avaliação do risco em que o trabalhador está exposto, como levar em consideração a natureza

do risco, o tipo de agente de risco, características, concentração no ambiente, efeitos fisiológicos no organismo, entre outros (FIOCRUZ, 2021).

No centro cirúrgico (CC), é utilizado um aparelho chamado eletrocautério, o qual realiza cortes e coagulação de vasos sanguíneos para diminuição de sangramento, melhor visualização do campo operatório e menor tempo cirúrgico. Essas características que este aparelho apresenta são coadjuvantes para o sucesso de uma cirurgia.

Porém, o mesmo, quando utilizado, libera no ar a fumaça cirúrgica (RAGDE, JORGENSEN, FORELAND, 2016), expondo os trabalhadores à poluição ocupacional do ar, caracterizando-se como um risco químico para esses profissionais expostos.

Essa fumaça contém partículas microscópicas que podem se depositar no sistema respiratório e penetrar no sistema cardiovascular, causando vários problemas de saúde a quem está exposto a esse tipo de material (NEUPANE et al., 2019), pois é composta por 95% de vapor e 5% de material particulado sólido. Dependendo do tipo de tecido que é cauterizado ou cortado, da duração do uso e da aplicação de energia no eletrocautério, este material liberado pode medir menos que  $1\mu m$  de diâmetro (KARSAI, DÄSCHLEIN, 2012).

Frente ao tamanho dessas partículas, para a proteção dos trabalhadores expostos a esta poluição ocupacional, indica-se a utilização de máscaras de proteção respiratória, como as máscaras N95/PPF2 (AORN, 2021), pois as mesmas têm a capacidade de filtração acima de 95%, o que as capacita para filtrar partículas de tamanho submicrométrico (GEORGESEN, LIPNER, 2018), mas não possuem filtros eficazes na filtração de moléculas químicas. Portanto, se a equipe da sala de cirurgia estiver exposta à fumaça cirúrgica, é necessária a utilização de uma máscara que contenha um filtro específico para vapores químicos (WAMBIER et al., 2019).

Hoje, no trabalho no CC, os expostos a esse risco químico utilizam a máscara cirúrgica, a qual tem uma eficiência de filtração de 91,53%, filtrando partículas que medem  $5\mu m$  ou mais. Além disso, possui pontos soltos em relação ao rosto do usuário, o que dificulta a proteção adequada (GEORGESEN, LIPNER, 2018),

e, ainda, essas máscaras não possuem filtro químico necessário para proteção à exposição à fumaça cirúrgica.

Mas, sobre essas afirmações, ainda se tem dúvida sobre o uso das máscaras N95/PFF2 para a proteção dos trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica, pois essas máscaras são recomendadas para este tipo de proteção (AORN, 2021).

Portanto, o objetivo deste estudo foi analisar, por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), a morfologia dos filtros das máscaras N95/PFF2 com e sem carvão ativado.

## **2.2 MÉTODO**

Estudo analítico, observacional, que tem por objetivo realizar a coleta de dados sem que os pesquisadores interfiram sobre os fenômenos existentes (POLIT, BECK, 2019), realizado no período de abril e maio do ano de 2020. Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise (LMEM) de uma universidade localizada no norte do Paraná.

Para compor as amostras, foram adquiridas máscaras de marcas conhecidas no mercado que estavam disponíveis no hospital universitário no momento do estudo: máscara PFF2 com carvão ativado e máscara PFF2/equivalente N95.

No laboratório, foram recortadas as amostras em tamanho de 9 mm<sup>2</sup>, para serem avaliadas no aparelho de MEV (FEI Quanta 200, FEI Company, Holanda).

Para tal análise, as amostras foram montadas nos suportes de alumínio com fita de carbono e, então, foram pulverizadas com filme de ouro (BALTEC SDC 050, Sputter Coater, Alemanha). Após, foram analisadas no MEV, que liberou eletromicrografias geradas em modo topográficos a 20kV em alto vácuo. Assim, foi empregada a técnica de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS), para determinar a composição química dos materiais que estavam sendo analisados. Para isso, essas amostras foram colocadas nos suportes de alumínio com fita de carbono, sendo cobertas por carbono (BALTEC SDC 050, Sputter Coater, Alemanha), conforme Figura 1. Assim, foram analisadas por MEV pelo grupo de pesquisadores que fazem parte deste estudo.

**Figura 1:** Preparo do material para análise em aparelho de Microscopia Eletrônica de Varredura

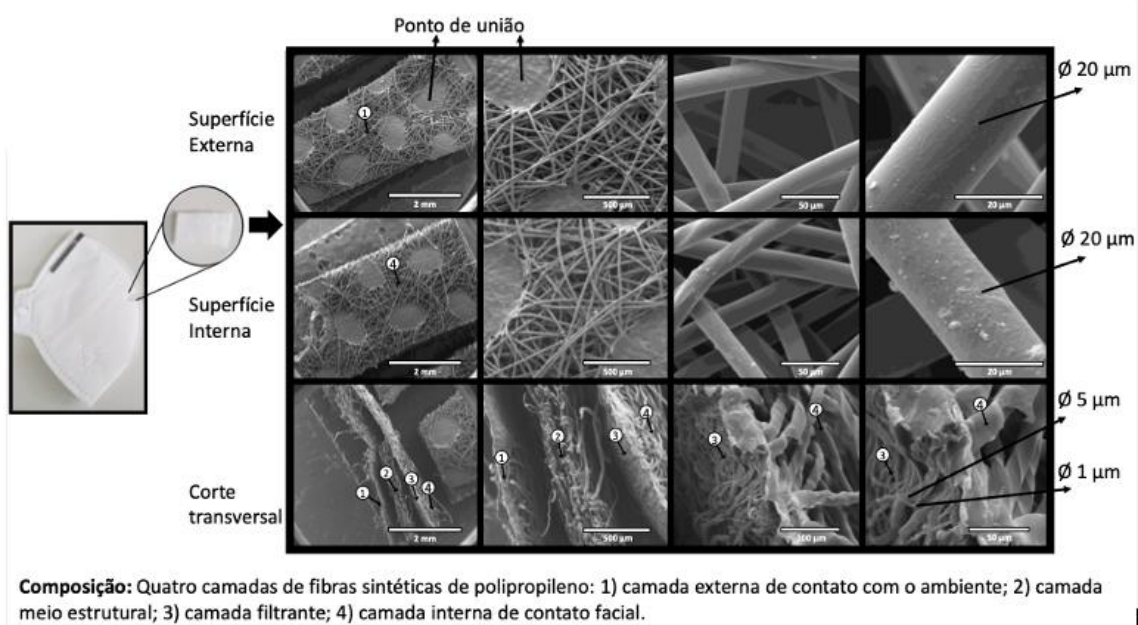


**Fonte:** Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise.

### 2.3 RESULTADOS

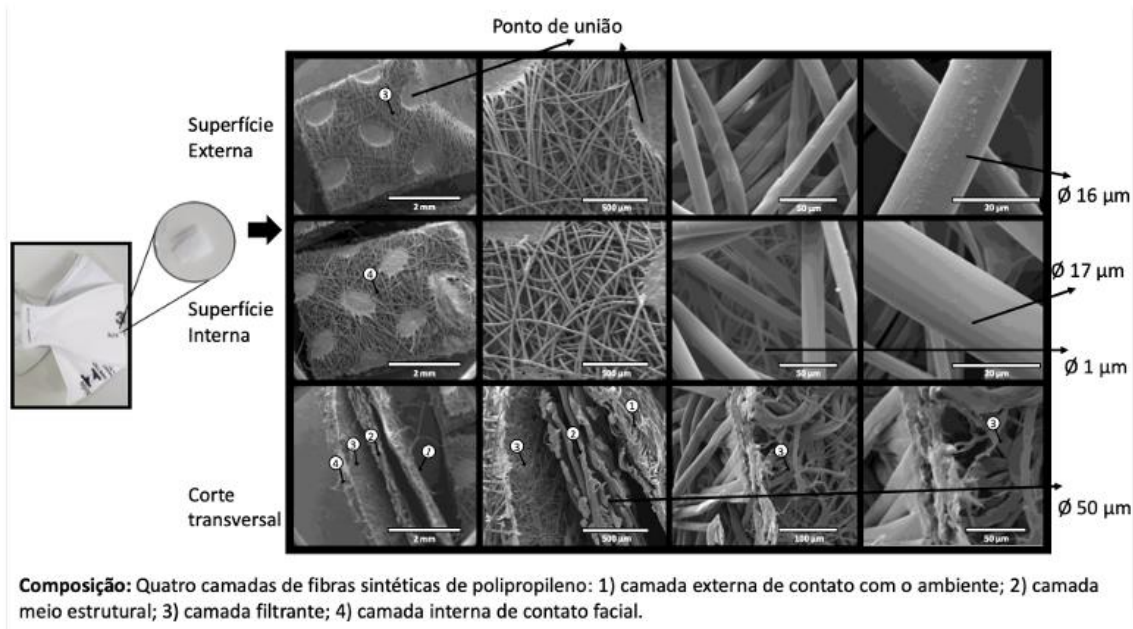
As análises microscópicas realizadas nas amostras das máscaras de alta filtração PFF2/N95 estão apresentadas nas Figuras 2, 3 e 4.

**Figura 2 - Microscopia Eletrônica de Varredura da máscara hospitalar PFF2 (1)**



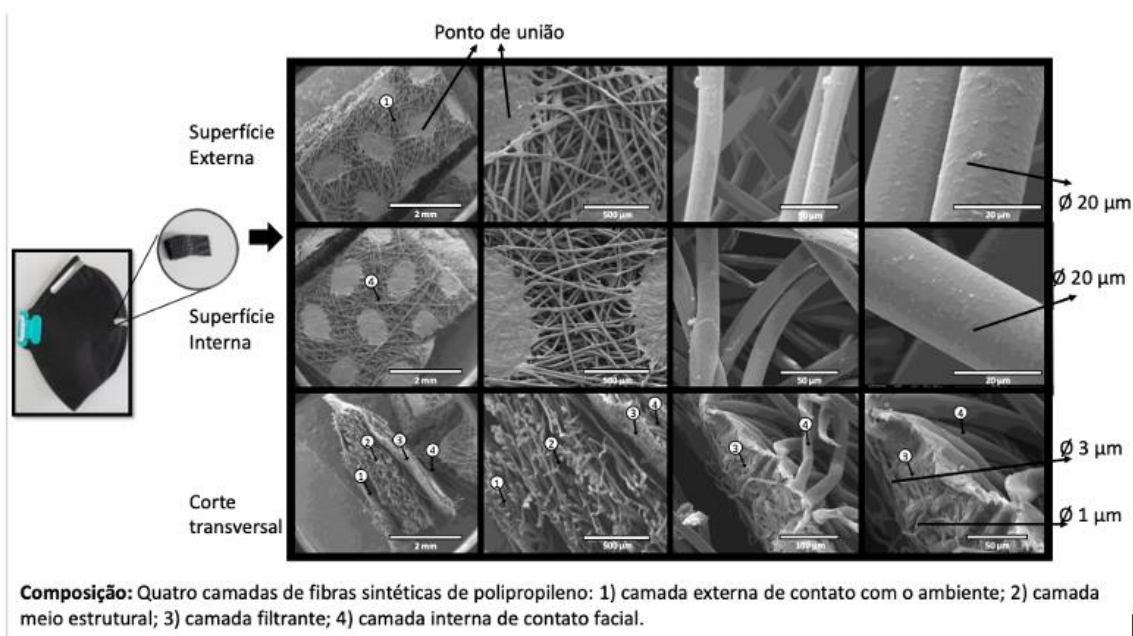
**Fonte:** Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise.

**Figura 3 - Microscopia Eletrônica de Varredura da máscara hospitalar PFF2 (2)**



**Fonte:** Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise.

**Figura 4** – Microscopia Eletrônica de Varredura da máscara hospitalar PFF2/N95 com impregnação de carvão ativado



**Fonte:** Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise.

Todas as máscaras apresentaram as mesmas características, com quatro camadas de fibras sintéticas de polipropileno, distribuídas em camada externa, a qual está em contato com o meio ambiente, camada estrutural, camada filtrante e camada interna, a qual está em contato com a face do usuário.

Pode-se verificar que a diferença apresentada está no tamanho das fibras (fibras da camada filtrante possuem de 1 a  $5\mu m$ , e as fibras das camadas estruturais medem de 15 a  $20\mu m$ ).

Com base nas imagens apresentadas, foi possível observar aberturas nas tramas da camada filtrante, com variações entre as máscaras. Pode-se sugerir que existam porosidades nas camadas das máscaras, mas, ao mesmo tempo, as fibras são finas e dispostas de forma irregular e em várias direções e camadas.

Entre as máscaras estudadas, uma possui em sua estrutura a impregnação do carvão nas fibras.

## 2.4 DISCUSSÃO

A fumaça cirúrgica, produzida durante os procedimentos realizados no CC, devido à utilização do eletrocautério, é de relevância para ambientes de saúde pública, por conta da liberação de pequenas partículas, como compostos orgânicos e inorgânicos, potencialmente perigosas aos trabalhadores que se encontram expostos a essa poluição ocupacional (BREE, BARNHILL, RUNDELL, 2017).

A composição da fumaça cirúrgica é influenciada por alguns fatores, como a duração e o tipo de procedimento realizado, tipo de tecido que está sendo cauterizado e até mesmo a presença de vírus e bactérias no local cirúrgico. Assim, o material particulado presente na fumaça cirúrgica pode variar de tamanho, sendo apresentado de 0,01 a  $6\mu m$  (AORN, 2021).

A inalação de material particulado pode causar diversas consequências, como efeitos adversos no sistema circulatório, respiratório e pulmonar. As partículas menores que  $10\mu m$  podem causar irritações e complicações ao longo prazo; as maiores se depositam no sistema respiratório superior; as de tamanho aproximado de  $2,5\mu m$  se depositam nos bronquíolos e alvéolos; e as de  $0,1\mu m$  ou menores penetram no sistema circulatório, causando o estresse oxidativo sistêmico. Assim, o trabalhador exposto a esse tipo de material pode desenvolver doenças arteriais coronarianas, insuficiência cardíaca, asma e doença pulmonar obstrutiva crônica (LIMCHANTRA, FONG, MELSTROM, 2019)

Foi verificado, neste estudo, que os filtros das máscaras possuem poros com tamanhos variados. Essa variação pode aumentar a sua capacidade de retenção de partículas, pois esses filtros possuem camadas de fibras bem finas, distribuídas de forma não uniforme, bem emaranhadas, características essas que diminuem a porosidade do filtro.

Porém, os tamanhos das partículas encontradas na fumaça cirúrgica são muito pequenos, menores que  $1\mu m$ , e representam um grande problema, pois as mesmas podem penetrar pelos filtros das máscaras. A máscara N95/PPF2 é um tipo de máscara que filtra partículas maiores que  $0,3\mu m$  (LIMCHANTRA, FONG, MELSTROM, 2019).

Entre os compostos químicos pequenos encontrados na fumaça cirúrgica, estão aqueles apresentados na fase gasosa: compostos orgânicos voláteis (COV) e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). Esses gases são considerados tóxicos e tornam a fumaça cirúrgica citotóxica, genotóxica e mutagênica (LIMCHANTRA, FONG, MELSTROM, 2019; ALP et al., 2006).

A máscara N95/PFF2 é projetada para impedir a penetração de 95% de material particulado, como detritos celulares, vírus e bactérias, porém gases e vapores não são capturados por esse tipo de filtro (WAMBIER et al., 2019).

Em uma das máscaras estudada, havia a impregnação de carvão nas fibras - esse tipo de combinação de filtro de material particulado de alta eficiência com a impregnação de carvão ativado é denominado de filtros de adsorção de gás de alta eficiência-, pois o carvão faz a adsorção de compostos químicos (ROZZI, SNYDER, NOVAK, 2012).

Assim, faz-se necessário que toda a equipe que está rotineiramente em exposição à fumaça cirúrgica faça uso de uma máscara com um filtro específico, como as que contêm uma camada de carvão ativado (WAMBIER et al., 2019).

Entre as práticas seguras para reduzir a exposição da equipe à fumaça cirúrgica, está a utilização de equipamento de proteção individual (EPI), como a máscara N95/PFF2 (SPRUCCE, 2018). O uso desse tipo de máscara, com a impregnação de carvão ativado, é um procedimento simples e de fácil acesso, que pode ser adotado por toda a equipe, incentivada pela instituição de saúde para evitar o risco da inalação química durante a exposição à fumaça cirúrgica<sup>7</sup> e o desenvolvimento de doenças relacionadas à exposição ocupacional.

Este estudo verificou as imagens morfológicas das máscaras N95/PFF2, porém não foi estudado juntamente às técnicas de micro/nano filtração para a confirmação da eficácia de filtração das máscaras, configurando uma limitação do estudo.

## **2.6 CONCLUSÃO**

Com este estudo, pode-se analisar a morfologia dos filtros das máscaras N95/PFF2 através da análise de tamanho, distribuição e conformação das fibras.

Os resultados deste estudo indicam que os trabalhadores que utilizarem uma máscara de alta eficiência tipo N95/PFF2, com carvão ativado, durante a exposição diária à fumaça cirúrgica, diminuem a inalação de materiais particulados que são prejudiciais à saúde ao longo prazo.

## 2.6 REFERÊNCIAS

ALP, E., et al. Surgical smoke and infection control. **The Journal of Hospital Infection**, v. 62, n.1, p.1-5, 2006.

ASSOCIATION OF PERIOPERATIVE REGISTERED NURSES (AORN). **Management of surgical smoke**. Denver, 2021. Disponível em: <https://www.aorn.org/guidelines/clinical-resources/tool-kits/non-member-tool-kits/management-of-surgical-smoke-tool-kit-nonmembers>

BREE, K.; BARNHILL, S.; RUNDELL, W. The dangers of electrosurgical smoke to operating room personnel: a review. **Workplace Health & Safety**, v. 65, n. 11, p. 517-26, 2017.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ). **Proteção Respiratória**. Rio de Janeiro, RJ, 2021. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/bis/virtual%20tour/hipertextos/up1/respiradores.html>

GEORGESEN, C.; LIPNER, S.R. Surgical smoke: risk assessment and mitigation strategies. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 79, n. 4, p. 746-55, 2018.

KARSAI, S., DÄSCHLEIN, G. "Smoking guns": hazards generated by laser and electrocautery smoke. **Journal of the German Society of Dermatology**. v.10, n. 9, p. 633-6, 2012.

LIMCHANTRA, I.V.; FONG, Y.; MELSTROM, K.A. Surgical smoke exposure in operating room personnel: a review. **JAMA Surgery**, v. 154, n. 10, p. 960–967, 2019.

NEUPANE, B.B. et al. Optical microscopic study of surface morphology and filtering efficiency of face masks. **Peer J**, v. 26, n. 7, p. e7142, 2019.

POLIT, F.D.; BECK, C.T. **Fundamentos de Pesquisa em Enfermagem: Avaliação de evidências para a prática da enfermagem**. 9 ed, Porto Alegre: Artmed, 2019.

RAGDE, S.F.; JORGENSEN, R.B.; FORELAND, S. Characterization of exposure to ultrafine particles from surgical smoke by use of a fast mobility particle sizer. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 60, n. 7, p. 860-74, 2016.

ROZZI, T.; SNYDER, J.; NOVAK, D. Pilot Study of Aromatic Hydrocarbon Adsorption Characteristics of Disposable Filtering Facepiece Respirators that Contain Activated Carbon. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 9, n. 11, p. 624-629, 2012.

SPRUCE, L. Back to Basics: Protection from surgical smoke. **AORN Journal**, v. 108, n. 1, p. 24-32, 2018.

WAMBIER, C.G., et al. Comment on “Surgical smoke: risk assessment and mitigation strategies” and chemical adsorption by activated carbon N95 masks. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 80, n. 4, p. e79-e80, 2019.

### 3 ESTUDO 3

#### DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE MÁSCARA DE PROTEÇÃO CONTRA A FUMAÇA CIRÚRGICA

##### RESUMO

**Objetivo:** descrever o desenvolvimento de um protótipo de máscara de proteção respiratória individual, ergonômica e sustentável para trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica. **Método:** trata-se de uma pesquisa aplicada de abordagem quantitativa. Para o desenvolvimento do protótipo da máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica, foi realizada uma pesquisa exploratória empregando métodos e ferramentas baseadas em *design*, constituída por sete etapas, além de utilizar as ferramentas do Processo de Desenvolvimento de Produtos. A pesquisa foi desenvolvida no período de março de 2019 a dezembro de 2021. As etapas seguidas para o desenvolvimento do protótipo foram as seguintes: *Sense Intent, Know Context, Know People, Frame Insights, Explore Concepts, Frame Solutions, Realize Offerings*. **Resultado:** a partir do molde da prototipagem, tornou-se possível a representação do abstrato para o físico, podendo implementar os conceitos criados nas etapas metodológicas e realizar os ajustes necessários para a criação do modelo de protótipo em que terá o conceito para a comercialização do produto, com seu dimensionamento, forma e componentes. **Conclusão:** com este estudo, foi descrito o processo de desenvolvimento de um protótipo de uma máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica, desde a etapa de projeto até o desenvolvimento do protótipo, para a posterior testagem e confecção da máscara definitiva, para proteção de trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica.

**DESCRITORES:** Fumaça; Equipamento de proteção individual; Poluentes ocupacionais do ar; Projetos de desenvolvimento tecnológico e inovação.

##### 3.1 INTRODUÇÃO

Cirurgiões e trabalhadores da sala de cirurgia estão expostos a uma variedade de riscos ocupacionais, como a poluição química presente no ar das salas cirúrgicas. Por exemplo, há os materiais particulados em aerossol, presentes na fumaça cirúrgica, compondo a lista dos poluentes ocupacionais do ar (SCHRAMM et al., 2021).

A fumaça cirúrgica, formada pela queima de tecido durante a utilização do eletrocautério nos procedimentos cirúrgicos, contém produtos químicos na forma gasosa, partículas de células, bactérias e vírus (LIMCHANTRA et al., 2019). Essas partículas podem atingir a zona de respiração do cirurgião e demais trabalhadores que estão próximos ao campo cirúrgico (ELMASHAE et al., 2018).

A inalação de material particulado pelos profissionais expostos pode causar efeitos adversos aos sistemas circulatório, respiratório e nervoso, pois partículas de  $10\mu m$ , ou menor, quando inaladas, causam irritações e complicações ao longo prazo (LIMCHANTRA et al., 2019).

A cada ano, milhões de trabalhadores da saúde, incluindo cirurgiões e enfermeiros, estão expostos à fumaça cirúrgica, mas ainda não existe um consenso de regulamentação entre as organizações cirúrgicas e de saúde ocupacional internacional para dirimir a exposição dos trabalhadores ao material particulado presente na fumaça cirúrgica. Assim, o *National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH), a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) e a *Association of periOperative Registered Nurses* (AORN) introduziram recomendações em relação ao uso de equipamentos de proteção individual (EPIs), ventilação local e exaustão, bem como aspiração da fumaça cirúrgica no local da sua produção. (NIOSH, 2016; OSHA, 2021; AORN, 2018).

Os EPIs recomendados para a utilização nas salas de cirurgia durante os procedimentos que produzem a fumaça cirúrgica, são a máscara N95 e o óculos de proteção.

A máscara N95 é testada e considerada uma máscara de alta filtração (AORN, 2018). No entanto, além dessa recomendação não ser requisito regulatório e o seu uso ser limitado a procedimentos considerados infectocontagiosos, há estudos que indicam que o vazamento que ocorre na utilização da máscara N95, causado pela vedação inadequada na face do usuário, é a principal via de penetração das partículas da fumaça cirúrgica e que a mesma não captura gases e vapores presentes na fumaça cirúrgica, pela falta do filtro para adsorção dos componentes químicos (ROZZI et al., 2012; GAO et al., 2016).

Porém, as máscaras cirúrgicas simples, que não são eficientes, pois não são projetadas para filtração de material particulado, são as máscaras comumente utilizadas pelos trabalhadores das salas cirúrgicas (ELMASHAE et al., 2018).

Além das questões citadas, tem-se a baixa adesão para a utilização dos EPI, que pode estar relacionada ao tamanho inadequado da máscara para cada

tipo de rosto, a falta de recursos para a aquisição dos mesmos, o incômodo durante o seu uso e, principalmente, o desconhecimento do seu papel preventivo (SILVA et al., 2021). Além disso, o uso prolongado da N95 causa lesões na pele do rosto do usuário, devido à pressão que ela exerce na pele, além de que o material utilizado para a sua produção é inadequado ao contato da pele (COELHO et al., 2020).

Considerando que a máscara respiratória N95 apresenta desconforto aos profissionais que as utilizam, e a máscara cirúrgica simples e a N95 proporcionam a proteção questionada contra a fumaça cirúrgica, torna-se importante o desenvolvimento de uma máscara eficaz, ergonômica e sustentável, para a proteção respiratória do trabalhador das salas cirúrgicas, além de se pensar em uma máscara que apresente maior acessibilidade à sua compra, inclusive por unidades de saúde que apresentam maior dificuldade com a sua compra.

Assim, tem-se como objetivo deste estudo descrever o desenvolvimento de um protótipo de máscara de proteção respiratória individual, ergonômica e sustentável para trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica.

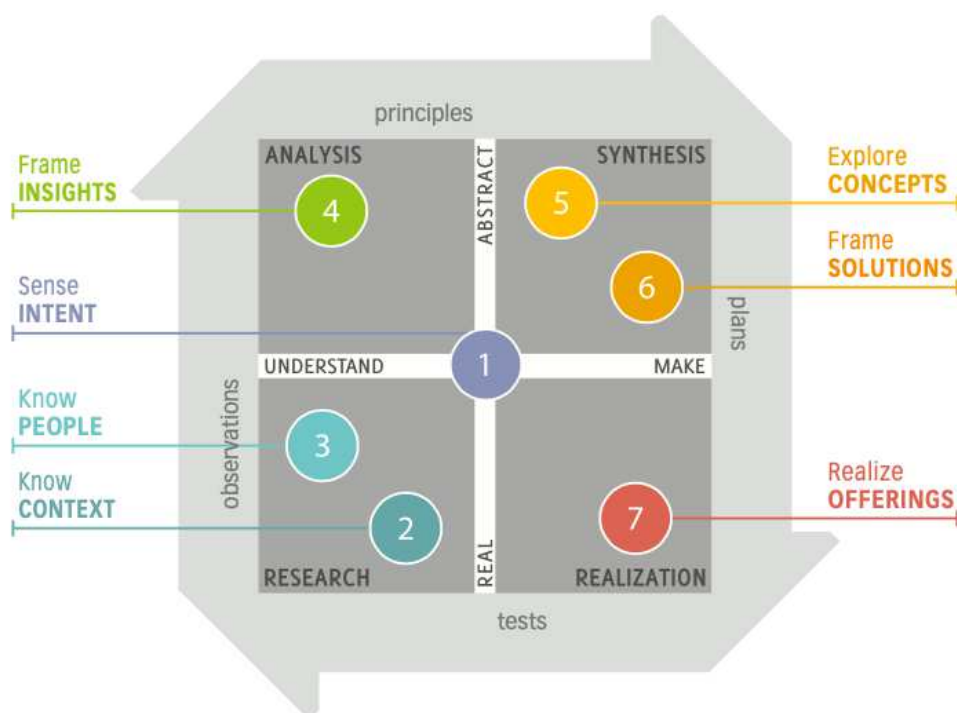
### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

Trata-se de uma pesquisa aplicada de abordagem quantitativa, pois gera produtos para aplicação na prática, visando solucionar algum problema específico (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Para o desenvolvimento do protótipo da máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica, foi realizada uma pesquisa exploratória empregando métodos e ferramentas baseadas em *design*, constituída por sete etapas (KUMAR, 2013), o qual tem a proposta de inovação, criando produtos e serviços. Além disso, foram utilizadas as ferramentas do Processo de Desenvolvimento de Produtos (ROZENFELD et al, 2006).

A pesquisa foi desenvolvida no período de março de 2019 a dezembro de 2021. Na Figura 1, demonstram-se as ferramentas de *design*, com as suas sete etapas, utilizadas para o desenvolvimento do protótipo.

**Figura1:** Processo de inovação em *design*



**Fonte:** Kumar, 2013.

O processo de inovação em *design* é um processo que se move de um lado para outro, ou seja, não é um processo linear, e segue as etapas conforme ilustrado na Figura 1: o quadrante inferior esquerdo representa a “pesquisa”; o superior esquerdo representa a “análise”, por meio da qual são processadas as informações da realidade nos termos abstratos para criar os modelos mentais que impulsionarão a inovação; quadrante superior direito é a “síntese”; e o quadrante inferior direito é a “realização”. Todos esses quadrantes combinados formam um modelo de processo formal, para que sejam impulsionadas as inovações. (KUMAR, 2013)

Na descrição das etapas de todo o processo de construção e desenvolvimento do protótipo da máscara de proteção, optou-se por dar ênfase na exploração dos conceitos e na estruturação de soluções encontradas a cada momento desse desenvolvimento. Portanto, as etapas seguidas para o desenvolvimento do protótipo, com os objetivos e a descrição das atividades de cada etapa, foram as seguintes:

**Etapa 1: *Sense Intent*** – Objetivo: reconhecer a realidade em relação às mudanças tecnológicas e da sociedade, para elaboração do projeto. Esta etapa compreende 4 subetapas:

- *Key facts*: coletar informações em pesquisas científicas, para justificar o desenvolvimento desta inovação;
- Busca de patentes: pesquisa em banco de patentes para identificar produtos semelhantes;
- *Trends Expert Interviews*: buscar por especialistas, para identificar as tendências e os desenvolvimentos de produtos futuros;
- Desenvolvimento do projeto: elaborar o projeto com os objetivos e metodologia, que subsidiarão o projeto.

**Etapa 2: *Know Context*** – Objetivo: estudar o contexto, as circunstâncias ou eventos que afetam o ambiente em que os produtos são utilizados no mercado. Esta etapa compreende 4 subetapas:

- *Contextual Research Plain*: elaborar um cronograma detalhado, com a apresentação do time de trabalho, canais de comunicação e reuniões;
- *Popular Media Research*: descobrir inovações realizadas sobre o contexto no cenário da mídia;
- *Publications Research*: realizar pesquisa de publicações sobre o tópico de interesse;
- *Innovation Evolution Map*: mostrar a evolução da indústria ao longo do tempo.

**Etapa 3: *Know People*** – Objetivo: entender as pessoas, usuários finais ou outras pessoas interessadas, e suas interações durante a vida diária. Esta etapa compreende 2 subetapas:

- *Research Participant Map*: ajudar a ter uma visão geral de todas as pessoas envolvidas no tópico do projeto, com base em suas funções e atividades, a fim de garantir que as pessoas certas sejam pesquisadas;
- *POEMS*: estuda as pessoas, objetos, ambiente, mensagens e serviços de um determinado contexto.

**Etapa 4: Frame Insights** – Objetivo: estruturar o que foi encontrado nas pesquisas e nos passos anteriores. Esta etapa compreende 3 subetapas:

- *Observations to Insights*: aprender com o que é observado na pesquisa, revelando significados;
- *Design Principles Generation*: transformar *insights* de pesquisas em declarações preditivas e viáveis para orientar a idealização;
- *Analysis Workshop*: conduzir uma seção de trabalho para entender *insights*, encontrar padrões e criar estruturas para idealizações.

**Etapa 5: Explore Concepts** – Objetivo: identificar oportunidades e explorar novos conceitos. Esta etapa compreende 5 subetapas:

- *Principles to Opportunities*: transitar da análise para a síntese;
- *Persona Definition*: definir a personalidade do usuário para explorar o conceito em torno deles;
- *Behavioral Prototype*: simular situações de atividades de usuário para entender comportamentos e construir conceitos iniciais;
- *Concept Prototype*: incorporar conceitos em formas tangíveis para obter *feedback* dos usuários;
- *Concept Sketch*: visualizar conceitos como esboço, para mostrar como eles funcionam em termos abstratos;

**Etapa 6: Frame Solutions** – Objetivo: estruturar soluções. Esta etapa compreende 2 subetapas:

- *Solution Prototype*: simular experiências em torno de soluções propostas;
- *Synthesis Workshop*: método de *brainstorming* estruturado com foco na geração de conceitos.

**Etapa 7: Realize Offerings** – Objetivo: quando as soluções potenciais são enquadradas, e os protótipos, testados e avaliados, para a implementação. Esta etapa compreende 1 subetapa:

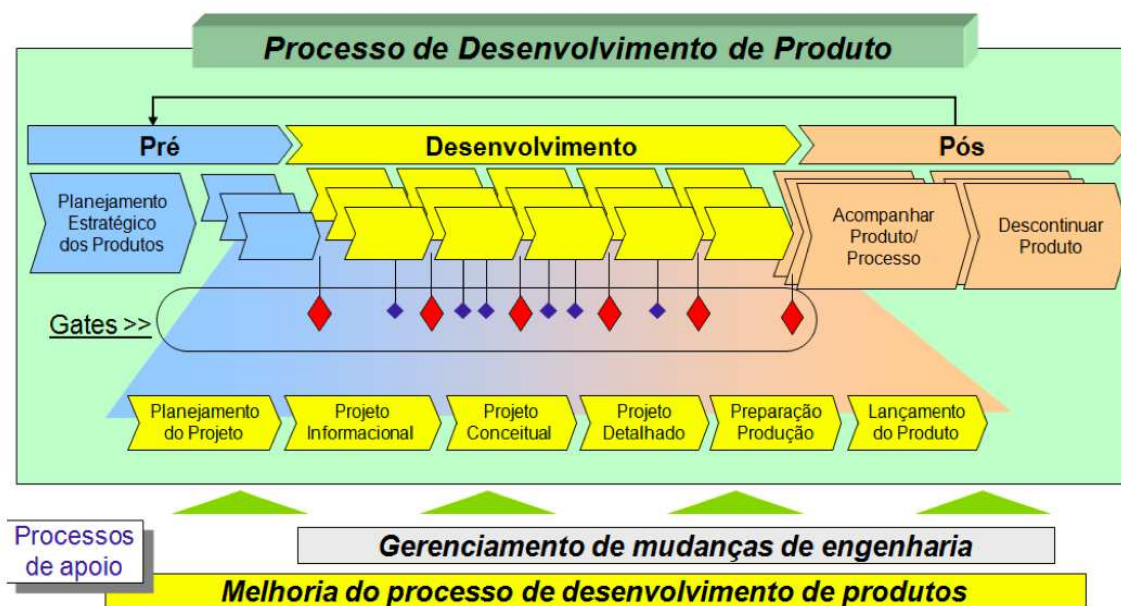
- *Pilot Development and Testing*: colocar as ofertas no mercado para aprender como elas funcionam e como os usuários as experienciam.

As etapas do desenvolvimento do protótipo de máscara foram alinhadas com as ferramentas do Processo de Desenvolvimento de Produtos (ROZENFELD et al, 2006), o qual é a conexão com o mercado, identificando-se a necessidade para propor soluções. Assim, o processo divide-se em três macros fases: o pré-desenvolvimento, o desenvolvimento e o pós-desenvolvimento.

A fase de pré-desenvolvimento garante o desenvolvimento do produto, mapeando detalhadamente o andamento do projeto e garantindo o direcionamento estratégico com a participação de todos os envolvidos. A fase de desenvolvimento, parte das informações obtidas da fase anterior, transforma-as em detalhes técnicos para a produção. E a fase do pós-desenvolvimento é o acompanhamento do produto no mercado, identificando as necessidades ou oportunidades de melhorias (ROZENFELD et al, 2006).

A Figura 2 mostra o modelo unificado do Processo de Desenvolvimento de Produtos.

**Figura 2:** Modelo unificado do Processo de Desenvolvimento de Produtos



**Fonte:** Rozenfeld et al. (2006).

Na fase do pré-desenvolvimento do produto, foi realizado um planejamento de trabalho, sendo elaborado um cronograma detalhando as etapas, a realização de pesquisa em bases de dados e uma lista de requisitos necessários para a construção do projeto da máscara para proteção da fumaça cirúrgica, fundamentados pelas seguintes normas técnicas: não tecido para artigos de uso odonto-médico-hospitalar; não tecido para artigos de uso odonto-médico-hospitalar - determinação da eficiência da filtração bacteriológica (ABNT NBR 14873-2002); artigos de não tecido de uso odonto-médico-hospitalar - máscaras cirúrgicas – requisitos (ABNT NBR 15052-2004); equipamento de proteção respiratória – peça semifacial filtrante para partículas (ABNT NBR 13698).

Para o desenvolvimento do protótipo, foi necessário o trabalho multidisciplinar, pois o mesmo exige um processo complexo, demandando a visão de diferentes áreas de conhecimento, como de enfermeiros, químicos, especialistas em toxicologia e especialistas em *design* de produtos.

Portanto, para a elaboração do *design* do protótipo da máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica, foi contratado um escritório de *design* industrial.

Todas as informações, para o desenvolvimento do protótipo de máscara, foram obtidas com pesquisa na literatura, levando-se em consideração os resultados das pesquisas realizadas anteriormente pelo Grupo de Estudos em Gestão, Editoração Científica e Saúde do Trabalhador (GeeST).

### 3.3 RESULTADOS

Esta pesquisa teve o intuito de desenvolver um produto que irá trazer maior proteção e segurança para o trabalhador desenvolver suas atividades laborais, apresentar a característica de um produto sustentável e se adaptar aos vários tipos de rostos dos usuários.

Assim, foram iniciadas as atividades na primeira etapa prevista, o *Sense Intent*, para a compilação de informações e abertura do projeto. Com as informações coletadas, foram elencados os requisitos necessários para a elaboração do protótipo, que estão descritas no Quadro 1.

**Quadro 1:** Requisitos necessários para o desenvolvimento do protótipo de máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica Londrina, Brasil, 2022

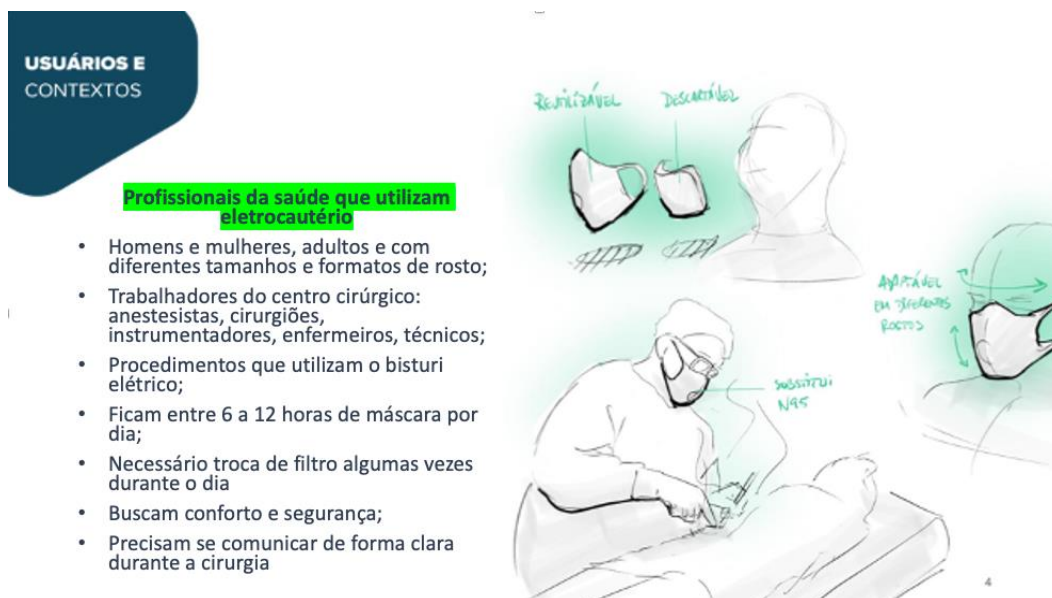
Requisito do produto	Atributo	Especificação	Necessário ou desejável
Material deve permitir higienização por autoclavagem	Segurança	Sugestão: silicone	Necessário
Ser adaptável a diferentes tamanhos de rosto	Conforto e segurança	Ser de material maleável/adaptável	Necessário
		Ter opções de tamanho (P, M e G)	Desejável
		Deve possuir regulagem na cinta de fixação	Desejável
Permitir o uso por longos períodos sem causar danos ao rosto do usuário	Conforto	Ser de material maleável/adaptável	Necessário
		Fixação deve ser na cabeça e não nas orelhas	Necessário
		Pontos de maior pressão no rosto devem ser confortáveis	Necessário
Permitir comunicação entre os profissionais	Usabilidade	Material não deve isolar o som	Desejável
Deverá ser de uso individual e reutilizável	Usabilidade	Deve possuir filtro descartável	Necessário
Produto não deve assustar pacientes	Estética	Não deve possuir válvulas de expiração	Necessário

Sobre partes desmontáveis (norma ABNT NBR 13698:2011)	Segurança	Todas as partes desmontáveis (se existentes) devem ser facilmente conectadas e mantidas firmemente na peça, sem o uso de ferramentas	Necessário
Sobre acabamento (norma ABNT NBR 13698:2011)	Conforto	O acabamento de qualquer parte da máscara que entre em contato com o usuário deve estar livre de rebarbas ou cantos vivos	Necessário
Máscara deve vedar completamente no rosto	Segurança	Não apresentar aberturas entre a máscara e o rosto do usuário	Necessário
Deve ficar embaixo do queixo	Segurança	Manter a vedação	Necessário

Após serem descritos os requisitos necessários para o desenvolvimento da máscara, iniciaram-se as fases *Know Context* e *Know People*, realizando pesquisas de mercado e com pessoas, para entender o contexto e os usuários. Conhecer as pessoas é adquirir compreensão dos pensamentos, necessidades e sentimentos, por meio da observação, interação e análise da sua vida diária, do seu cotidiano, revelando percepções e *insights* valiosos (KUMAR, 2013). Desse modo, foi possível identificar os potenciais *insights* para serem utilizados nas fases de ideação e solução.

Foram realizadas as pesquisas de mercado, com o intuito de buscar informações para o planejamento do produto. Também foram adquiridas várias máscaras disponíveis no mercado, tanto de utilização para proteção do pessoal da saúde, como máscaras de proteção de trabalhadores de indústrias. Na literatura, foram verificados os pontos de pressão das faces. Para tanto, foi utilizada a ferramenta Pessoas, Objetos, Ambiente, Mensagem e Serviços (POEMS), apresentada na Figura 3.

**Figura 3:** Ferramenta Pessoas, Objetos, Ambiente, Mensagem e Serviços (POEMS) para a utilização do desenvolvimento da máscara de proteção contra fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022

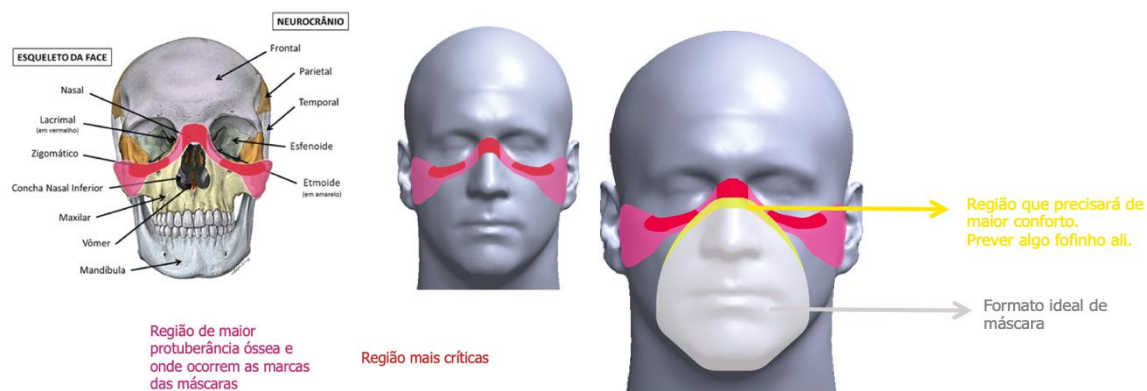


**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

A seguir, apresentam-se, nas Figuras 4 e 5, o estudo dos pontos de pressão na face dos usuários e o estudo dos tipos de faces.

**Figura 4:** Estudo dos pontos de pressão na face de usuários para o desenvolvimento do protótipo da máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022





Fonte: próprio autor e escritório de *design*.

**Figura 5:** Estudo dos tipos de faces para a elaboração do protótipo da máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022



Fonte: próprio autor e escritório de *design*.

Após o estudo de faces, foi realizada uma simulação do uso das máscaras adquiridas no mercado em geral, pelos pesquisadores, para verificar os pontos fortes e fracos de cada máscara (Apêndice A) e, dessa forma, apresentar subsídios para o desenvolvimento do protótipo.

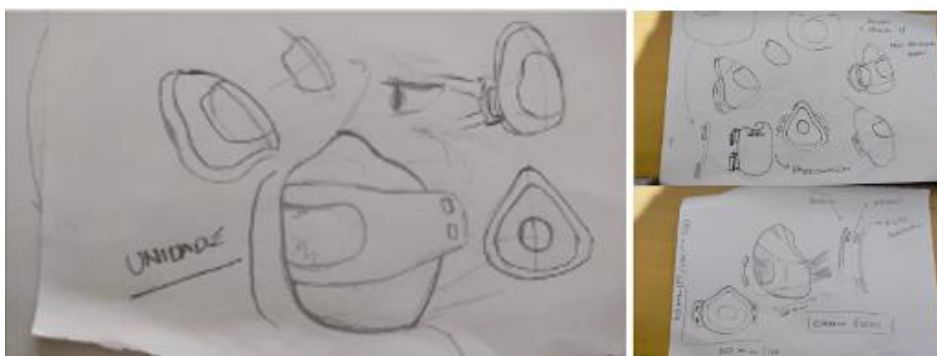
Nas etapas anteriores, discutiram-se o contexto e o entendimento dos usuários, obtendo conhecimentos e informações sobre o objeto de estudo. Após, iniciou-se a fase do *Frame Insights*, em que foram compreendidas as informações coletadas, transformando-as em interpretações úteis e concretas para o

desenvolvimento do protótipo. A partir dessas informações e da análise dos requisitos elencados para o desenvolvimento do protótipo, foi iniciada a fase *Explore Concepts*, em que foram definidas as soluções do projeto para, então, partir para a criação do produto. É a fase conhecida como ideação, que é o momento em que a equipe cria ideias centradas no usuário e no contexto estudado nas etapas anteriores (KUMAR, 2013).

Iniciou-se essa etapa com o *Principles to Opportunities*, em que os *insights* observados fornecem uma boa estrutura para passar da compreensão à definição e exploração, para geração dos conceitos. É um método em que a transição das fases *Frame Insights* para a fase *Explore Concepts* ocorre de maneira disciplinada, de modo que os conceitos sejam fundamentados em dados de pesquisas objetivas, ao invés de enviesados por suposições subjetivas (KUMAR, 2013). Assim, iniciou-se o esboço do material a ser desenvolvido, passando por todas as fases necessárias para a elaboração do mesmo.

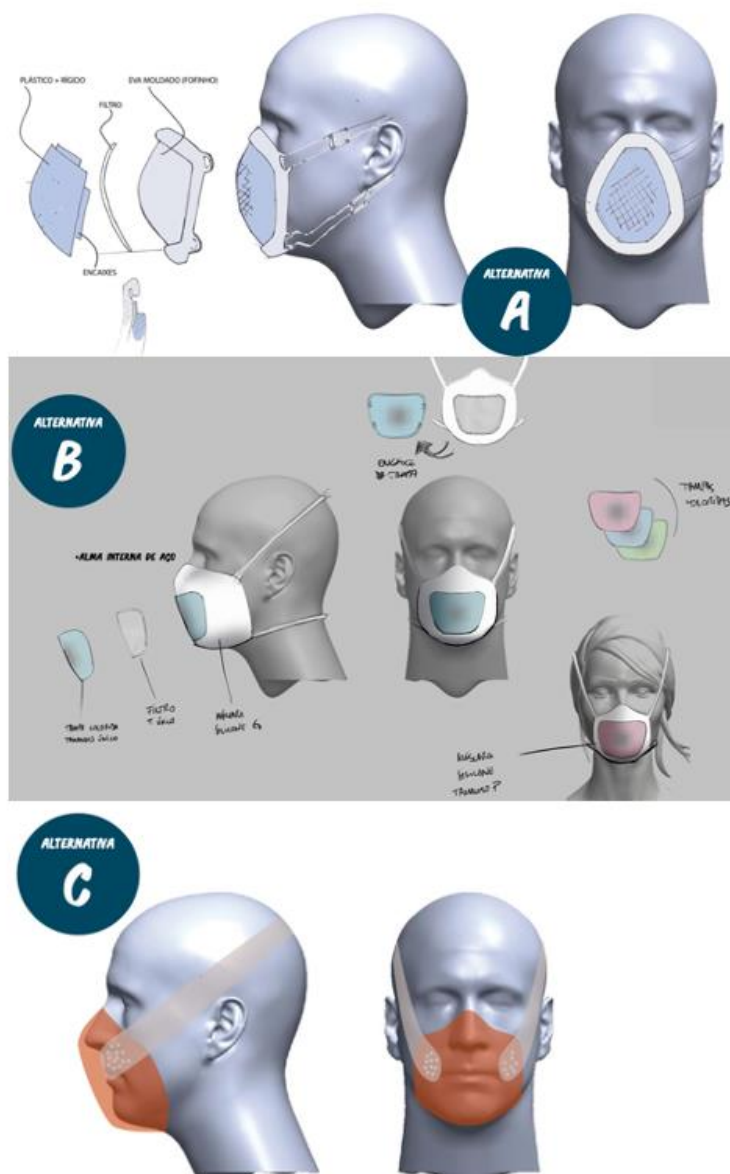
Inicialmente, foi criada uma padronagem, sendo realizadas algumas sugestões baseadas nas informações coletadas, conforme apresentado nas Figuras 6 e 7

**Figura 6:** Esboço do *design* do protótipo da máscara (padronagem) para proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022



**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

**Figura 7:** Sugestões de *design* para o protótipo da máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022



**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

As sugestões foram ao encontro dos *insights* gerados e dos requisitos levantados na fase da coleta de informações. Assim, foi escolhida a alternativa B como proposta viável para alcançar o objetivo proposto neste estudo. A partir dessa escolha, foi criado um modelo de protótipo, com materiais alternativos, para simular as funções pretendidas, por meio da observação e experiência do usuário, para validar ou invalidar as soluções propostas. As informações foram coletadas por meio da observação e interação do usuário com o protótipo, sendo registradas por fotos e anotações. As Figuras 8 e 9 apresentam o registro do molde do protótipo realizado.

**Figura 8:** Imagens do molde provisório do protótipo de máscara (frente e verso) para proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022

**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.



**Figura 9:** Simulação do uso do molde provisório do protótipo da máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022

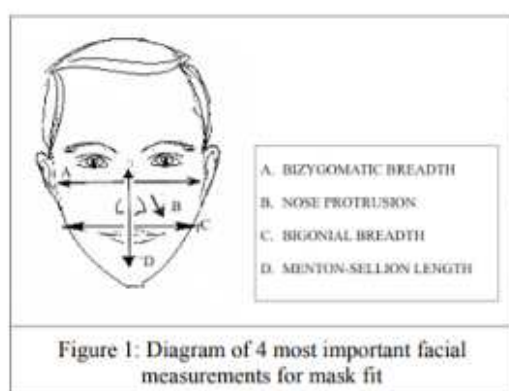


**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

A partir do modelo de protótipo, tornando-se possível a representação do abstrato para o físico, pôde-se implementar os conceitos criados nas etapas anteriores e realizar os ajustes necessários para a criação do modelo de protótipo, o qual apresenta o conceito para a comercialização do produto.

A máscara tem apresentação no tamanho P, M e G, conforme o estudo de face e de publicações na literatura (PROVENZANO, 2020), porém, para a construção do protótipo, a apresentação é no tamanho M, porque é o que melhor se adequa às faces analisadas. O protótipo apresentou todos os requisitos selecionados e avaliados durante todo o processo de desenvolvimento, conforme apresentado nas Figuras 10, 11 e 12.

**Figura 10:** Medidas faciais sugeridas para máscaras de proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022

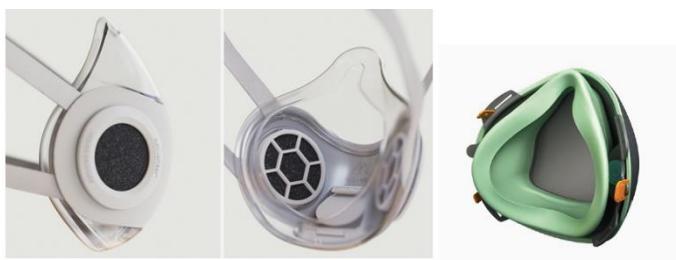


Size, mm Dimension	Small	Medium	Large
Bigonial breadth	98	115	137
Bizygomatic breadth (face width)	126	140	152
Menton-Sellion length (face length)	102	118	137
Nose protrusion	25	25	25

Table 2: Suggested facial measurements for respirator mask fit.

**Fonte:** Provenzano, 2020.

**Figura 11:** Modelos para definição do conforto interno para o desenvolvimento do protótipo da máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022



**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

**Figura 12:** Processo de verificação dos requisitos selecionados para o desenvolvimento do protótipo da máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022

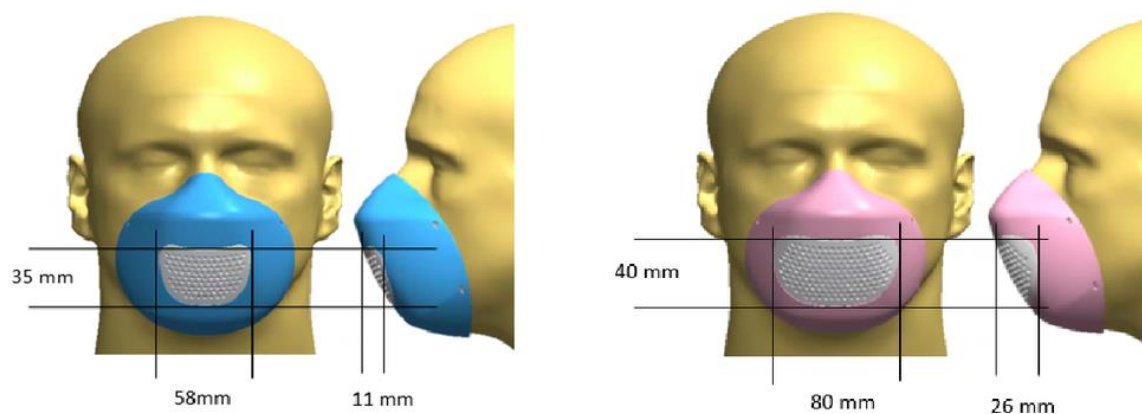


**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

A partir do molde da prototipagem, tornando-se possível a representação do abstrato para o físico, pôde-se implementar os conceitos criados nas etapas anteriores e realizar os ajustes necessários para a criação do modelo de protótipo, tendo o conceito para a comercialização do produto, com seu dimensionamento, forma e componentes.

Primeiramente, o modelo possuía uma dimensão que, após realizada a primeira impressão do protótipo, verificou-se que necessitava de ajustes no campo onde é colocado o filtro, sendo aumentadas as dimensões, conforme é apresentado na Figura 13.

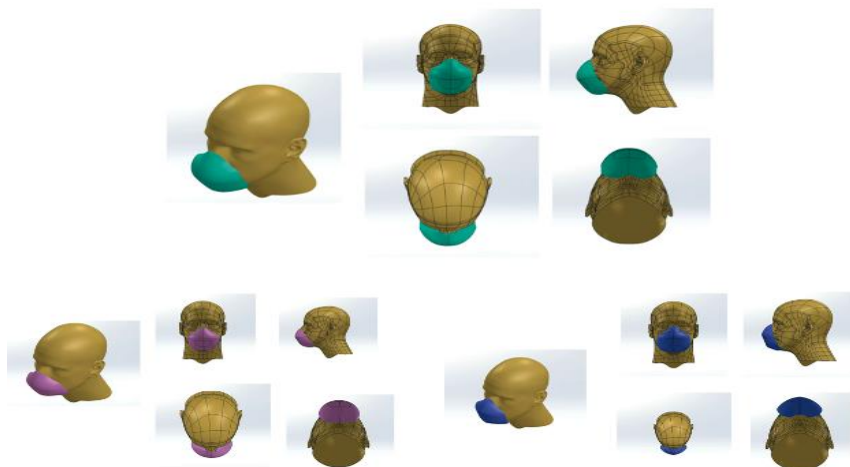
**Figura 13:** Comparação de medidas do campo de filtragem do protótipo da máscara. Londrina, Brasil, 2022



**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

Na Figura 14, apresenta-se a projeção do modelo do protótipo de máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica para cada tipo de face.

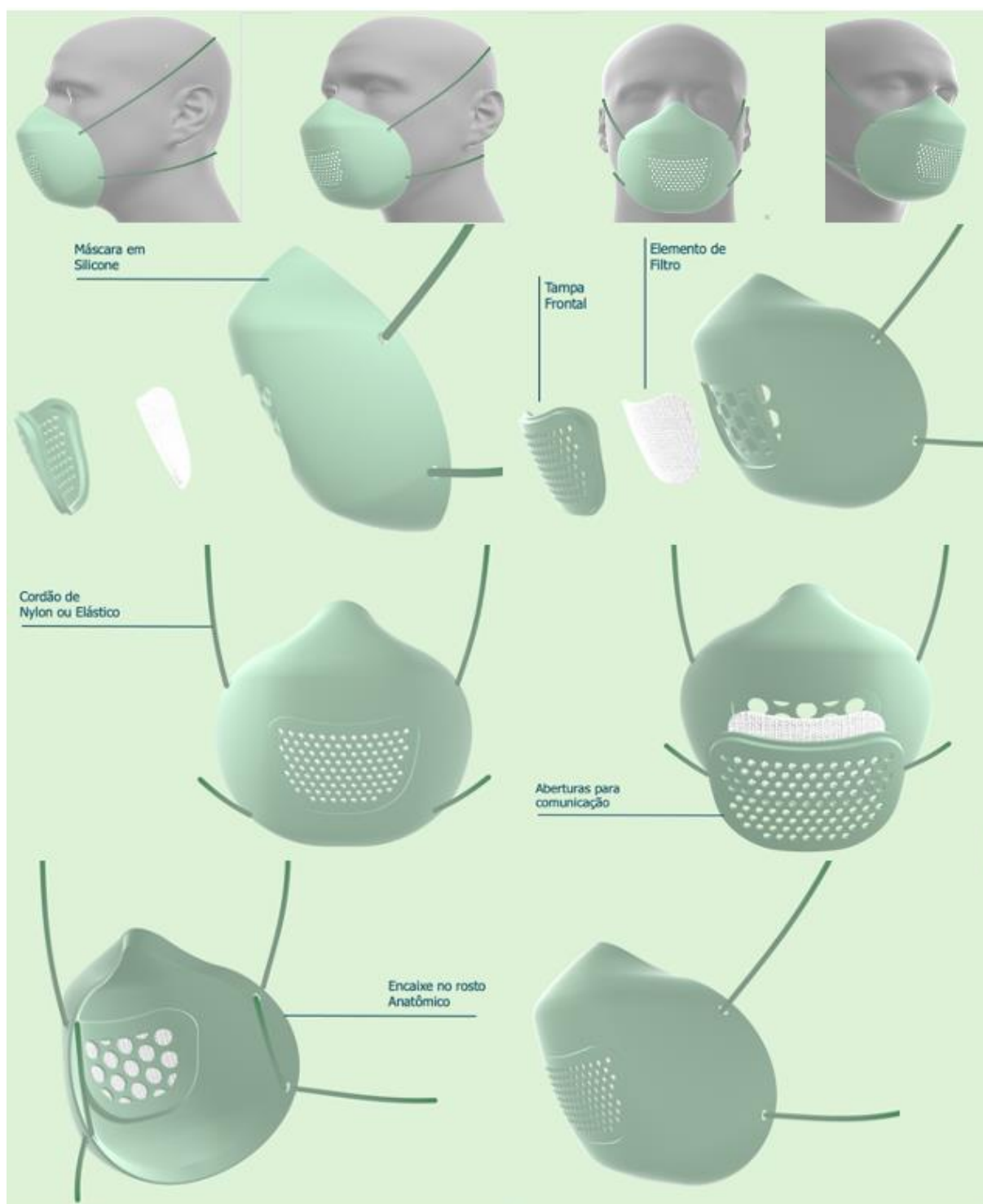
**Figura 14:** Modelo do protótipo de máscara para proteção contra a fumaça cirúrgica para cada tipo de face. Londrina, Brasil, 2022



**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

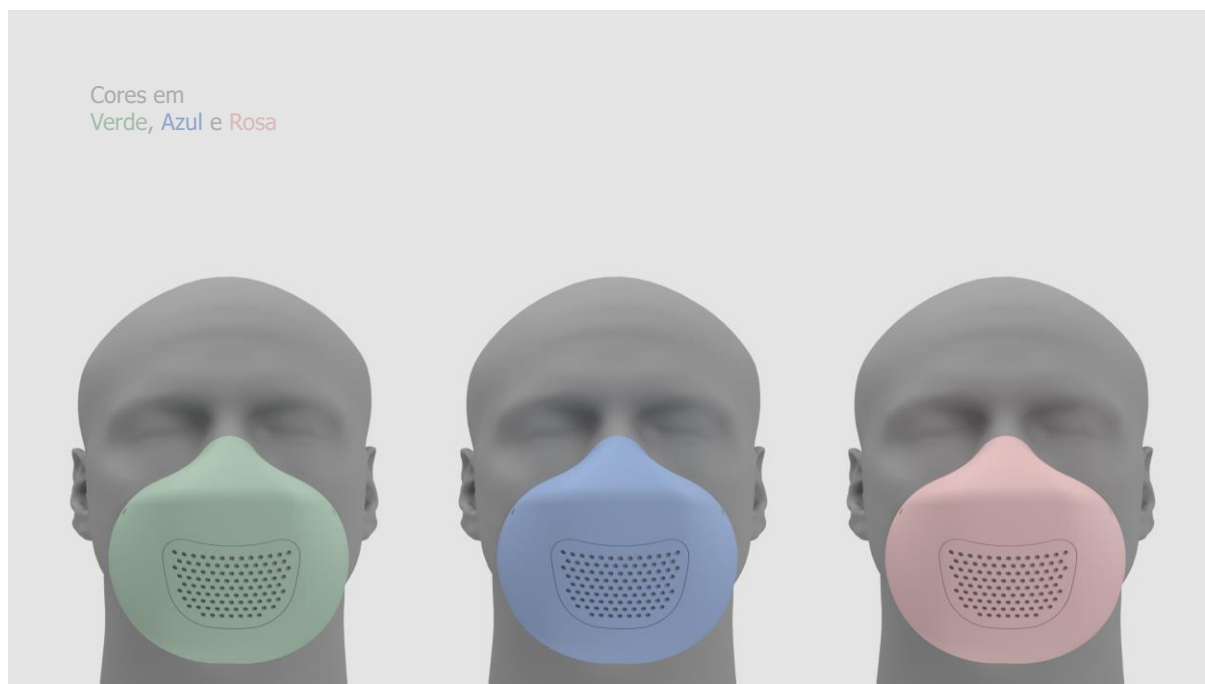
Nas Figuras 15 e 16, apresenta-se o protótipo da máscara para proteção respiratória contra a fumaça cirúrgica e as variações de cores.

**Figura 15:** Protótipo da máscara para proteção respiratória contra a fumaça cirúrgica. Londrina, Brasil, 2022



**Fonte:** próprio autor e escritório de *design*.

**Figura 16:** Protótipo da máscara de proteção respiratória contra a fumaça cirúrgica, com variação de cores. Londrina, Brasil, 2022



Fonte: próprio autor e escritório de *design*.

### 3.4 DISCUSSÃO

Com este estudo, desenvolveu-se um protótipo de máscara para proteção respiratória dos trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica, evitando-se, desta forma, o possível desenvolvimento de doenças ligadas a esse risco químico.

O desenvolvimento de novos produtos que vão atender ao mercado ou que vão gerar valor para a sociedade é chamado de inovação, entendido como a busca de novidade por meio de novos produtos, serviços ou métodos de produção (GRÜTZMANN, ZAMBALDE, BERMEJO, 2019)

Nesse contexto, o produto é entendido como um conjunto de características palpáveis que possa ser consumido pelo mercado, suprimindo as suas necessidades (GRÜTZMANN, ZAMBALDE, BERMEJO, 2019). A máscara desenvolvida protege os trabalhadores que estão expostos aos riscos que a fumaça cirúrgica proporciona, como a inalação de produtos químicos tóxicos, além de ser um produto que poderá suprir a necessidade do mercado, visto que as máscaras disponíveis no mercado não são fabricadas para este tipo de proteção.

O processo de desenvolvimento de um produto é caracterizado por um processo sistemático que percorre algumas etapas para que se alcance o objetivo (GRÜTZMANN, ZAMBALDE, BERMEJO, 2019), como a prototipação do produto, que é a etapa em que a ideia passa do abstrato para o físico. Por meio do protótipo, as incertezas do projeto são eliminadas, para que a solução da ideia final seja assertiva (KUMAR, 2013).

Quanto ao material utilizado para o desenvolvimento do protótipo da máscara, optou-se em utilizar o Poliuretano Termoplástico (TPU), que é um filamento mais maleável, sendo o que mais se aproxima do material de silicone, material este que confeccionará a máscara. Com o TPU, pode-se verificar se os requisitos necessários elencados pelos pesquisadores foram contemplados.

Após pronto, o protótipo se encaixou bem à face dos pesquisadores, cobrindo todo o queixo e vedando a face. A tampa do filtro tem um tamanho adequado para facilitar a respiração, e o encaixe desta tampa é feito com facilidade na máscara.

Para os testes sugeridos para a validação da máscara, próxima etapa do estudo, será feita em material de silicone e terá como filtro o mesmo da máscara N95, com carvão ativado, pois o carvão ativado, que não está presente nas demais máscaras existentes, é capaz de adsorver os HPA, presentes na fumaça cirúrgica (ROZZI et al., 2012), além de ser capazes de filtrar até 95% do material particulado.

Um ponto importante do desenvolvimento da máscara de proteção é que o material escolhido para a finalização foi o silicone, que possibilitará a desinfecção e/ou esterilização; portanto, será reutilizada, contribuindo com a sustentabilidade e diminuição do lixo gerado em instituições da saúde.

O desenvolvimento de um produto novo é um processo complexo. Portanto, como previsto, na última etapa, é realizado o protótipo com o material definitivo, para que seja implementado e avaliado diretamente no trabalhador das salas cirúrgicas. Nesta etapa, é comprovada a eficácia da máscara na proteção do trabalhador que é exposto à inalação da fumaça cirúrgica, além da sua usabilidade.

### **3.5 CONCLUSÃO**

Com este estudo, foi descrito o processo de desenvolvimento de um protótipo de uma máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica, desde a etapa de projeto até o desenvolvimento do protótipo, para a posterior testagem e confecção da máscara definitiva, para proteção de trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica.

Porém, pode-se afirmar que é possível o desenvolvimento de uma máscara para proteção de trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica para uso individual, passível de desinfecção, ergonômica e sustentável, podendo, dessa forma, aumentar a adesão ao seu uso, protegendo o usuário do desenvolvimento de doenças ligadas a esta exposição.

### 3.6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). **Não tecido para artigos de uso odonto-médico-hospitalar – determinação da eficiência da filtração bacteriológica**. NBR – 14873, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). **Artigo não tecido de uso odonto-médico-hospitalar – máscaras cirúrgicas - Requisitos**. NBR – 15052, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). **Equipamento de proteção respiratória – peça semifacial filtrante para partículas**. NBR – 13698, 2011.

ASSOCIATION OF PERIOPERATIVE REGISTERED NURSES (AORN). **Guideline for surgical smoke safety**. In: *Guidelines for Perioperative Practice*. Denver, CO: AORN, Inc, 469-498, 2018.

COELHO, M.M.F. et al. Pressure injury related to the use of personal protective equipment in COVID-19 pandemic. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 73, n. suppl 2, p. e20200670, 2020.

ELMASHAE, Y., et al. Surgical Smoke Simulation Study: Physical Characterization and Respiratory Protection. **The Journal of the American Association for Aerosol Research**, v.52, n.1, p. 38-45, 2018.

GAO, S. et al. Performance of Facepiece Respirators and Surgical Masks Against Surgical Smoke: Simulated Workplace Protection Factor Study. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 60, n. 5, p. 608–618, 2016.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GRÜTZMANN, A.; ZAMBALDE, A.L.; BERMEJO, P.H.S. Inovação, Desenvolvimento de Novos Produtos e as Tecnologias Internet: estudo em empresas brasileiras. **Gestão & Produção**, v. 26, n. 1, p. e1451, 2019.

KUMAR, V. **101 design methods**. Hoboken, N.J: Wiley, 2013.

LIMCHANTRA, I.V.; FONG, Y.; MELSTROM, K.A. Surgical smoke exposure in operating room personnel: a review. **JAMA Surgery**, v. 154, n. 10, p. 960–967, 2019.

NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Control of Smoke from Laser/Electric Surgical Procedures**. NIOSH Pub, p. 96–128, 1996.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA). **Laser / Electrosurgery Plume**. US Department of Labor. Disponível em: <https://www.osha.gov/SLTC/laserelectrosurgeryplume/index.html>.

PROVENZANO, D. et al. Rapid Prototyping of Reusable 3D-Printed N95 Equivalent Respirators at the George Washington University. **ENGINEERING, Preprints**, 2020, 2020030444. Disponível em: doi: 10.20944/preprints202003.0444.v1

ROZENFELD, H.E.A., et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para melhoria do processo**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2012. 542 p.

ROZZI, T.; SNYDER, J.; NOVAK, D. Pilot Study of Aromatic Hydrocarbon Adsorption Characteristics of Disposable Filtering Facepiece Respirators that Contain Activated Carbon. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 9, n. 11, p. 624-629, 2012.

SCHRAMM, M.W.J., et al. Surgically generated aerosol and mitigation strategies: combined use of irrigation, respirators and suction massively reduces particulate matter aerosol. **Acta Neurochirurgica**, v. 163, p. 1819–1827, 2021.

SILVA, R.K.S. et al. Medidas aplicadas para aumentar a adesão ao uso de EPI's entre profissionais da assistência a saúde. **Revista Feridas**, v. 09, n. 50, p. 1796-1803, 2021.

## 4 CONCLUSÕES

Com este estudo, pode-se verificar que é possível desenvolver um protótipo de máscara ergonômica e sustentável para proteção respiratória de trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica, podendo, dessa forma, aumentar o uso deste tipo de proteção contra o desenvolvimento de doenças ligadas a esta exposição.

Com a revisão sistemática da literatura, concluiu-se que as máscaras N95 são capazes de reduzir a exposição à fumaça cirúrgica, desde que as mesmas apresentem vedação correta na face do usuário. Caso o contrário, as partículas da fumaça cirúrgica podem penetrar, através do vazamento da vedação, na face do usuário.

As máscaras que contêm impregnação de carvão ativado podem ser grandes aliadas para diminuir a exposição dos trabalhadores às partículas químicas da fumaça cirúrgica, porém ainda há a necessidade de mais investigações para determinar a eficácia dos mesmo para os vapores orgânicos.

Assim, verificou-se a necessidade do desenvolvimento de uma máscara de proteção respiratória contra a fumaça cirúrgica que seja projetada para vedar a face do usuário corretamente, evitando, assim, a penetração da fumaça cirúrgica pelas vias aéreas do usuário, que não seja por meio do filtro utilizado nas máscaras.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi atingido, ao serem descritos os processos de desenvolvimento e criação de um protótipo de uma máscara de proteção contra a fumaça cirúrgica, desde a etapa de ideação e elaboração do projeto até o desenvolvimento do protótipo, para a posterior testagem e confecção da máscara definitiva, para proteção de trabalhadores expostos à fumaça cirúrgica.

O tema e o desafio que motivaram a ideação e o desenvolvimento de um novo conceito de máscara, para a proteção de trabalhadores que estão expostos

à fumaça cirúrgica, partiram dos resultados obtidos com as pesquisas realizadas pelo GeeST.

Para tanto, foi necessária a colaboração de uma equipe multidisciplinar composta por enfermeiros, químicos, toxicologista, engenheiro de produção industrial e *designer*. Assim, ao longo de todo o desenvolvimento, houve diferentes ideias, compartilhadas com toda equipe, para discussões de impasses e resoluções dos requisitos elencados no projeto. Isso permitiu o aprimoramento do projeto inicial e desenvolvimento das atividades, o que possibilitou o planejamento para validar o produto desenvolvido.

Sabe-se que, para o desenvolvimento de um produto, é necessário um processo complexo que demanda estudo, tempo, esforço, dedicação e recursos financeiros. Para o desenvolvimento e confecção do protótipo da máscara, foram utilizados recursos financeiros da própria pesquisadora. Porém, para a realização do produto em material apropriado e a sua validação, será necessária a utilização de um recurso financeiro adquirido com a aprovação do edital do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Espera-se que o produto gerado nesta pesquisa proteja os trabalhadores que estão em contato com a fumaça cirúrgica, a fim de evitar o desenvolvimento de doenças ligadas a este risco. Ademais, uma máscara de proteção mais confortável pode ser mais facilmente aderida pelos trabalhadores expostos, além de ser sustentável e possibilitar mais tempo de uso pelo mesmo trabalhador.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 09 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022.

\_\_\_\_\_. **Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 32 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022.

ALP, E., et al. Surgical smoke and infection control. **The Journal of Hospital Infection**, v. 62, n.1, p.1-5, 2006.

BARRETT, W.L.; GARBER, S.M. Surgical smoke - A review of the literature. Is this just a lot of hot air? **Surgical Endoscopy**, v. 17, n. 6, p. 979-987, 2003.

BENSON, S.M.; NOVAK, D. A.; OGG, M. J. Proper use of Surgical N95 Respirator and Surgical Masks in the OR. **AORN Journal**, v.97, n. 4, p. 458-470, 2013.

BHATT, A.; MITTAL, S.; GOPINATH, K.S. Safety considerations for Health care Workers involved in Cytoreductive Surgery and Perioperative chemotherapy. **Indian Journal Surgical Oncology**, v.7, n.2, p. 249-257, 2016.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). **Types of Masks and Respirators**. [Internet]. 2022. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/types-of-masks.html#masks>

COLLINS, A.P. et al. N95 respirator and surgical mask effectiveness against respiratory viral illnesses in the healthcare setting: A systematic review and meta-analysis. **Journal of the American College of Emergency Physicians Open**, v. 28, n. 5, p. e12582, 2021.

DE MORAIS JUSTINIANO, G. P. et al. Riscos ocupacionais e os resíduos de serviços de saúde em centro cirúrgico. **Revista SOBECC**, v. 25, n. 1, p. 25-32, 2020.

DUARTE, L. R. P. et al. Estado de Conservação de Respiradores PFF-2 Após uso na Rotina Hospitalar. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 44, n. 4, P. 1011-1016, 2010.

ELMASHAE, Y. et al. Surgical smoke simulation study: Physical characterization and respiratory protection. **Aerosol Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 38-45, 2018.

FAN, J. K. M.; CHAN, F. S. Y.; CHU, K. M. Surgical Smoke. **Asian Journal of Surgery**, v. 32, n. 4, p. 253-257, 2009.

FERREIRA, A.P. et al. Literature review on working environment hazards relative to the working conditions and impact on workers' health. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 16, n. 3, p. 360-370, 2018.

FITZGERALD, J.E. et al. A single-blind controlled study of electrocautery and ultrasonic scalpel smoke plumes in laparoscopic surgery. **Surgical Endoscopy**, p. 337-342, 2012.

GREGÓRIO, D.S. Riscos ocupacionais: uma revisão da literatura. **Revista de psicologia**, v.11, n.34, p. 401-413, 2017

JACQUES, J.P.B. et al. Sala de bem-estar como estratégia para redução do estresse ocupacional: estudo quase-experimental. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 71, supl. 1, p. 483-489, 2018.

LIU, Y. et al. Awareness of surgical smoke hazards and enhancement of surgical smoke prevention among the gynecologists. **Journal of Cancer**, v.10, n.12, p. 2788-2799, 2019.

MEZA, Maria Cristina Navarro et al. Respiratory symptoms caused by the use of electrocautery in physicians being trained in surgery in a Mexican hospital. **Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica**, v. 30, n. 1, p. 41-44, 2013.

NAZARIO, E.G., CAMPONOGARA, S., DIAS, G.L. Riscos ocupacionais e adesão a precauções-padrão no trabalho de enfermagem em terapia intensiva: percepções de trabalhadores. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 42, e7 (on-line), 2017.

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY. **A comparison of surgical masks, surgical N95 respirators, and industrial N95 respirators** [Internet]. 2014. 4 p. Disponível em: <https://ohsonline.com/Articles/2014/05/01/Comparison-Respiratory.aspx?Page=2>

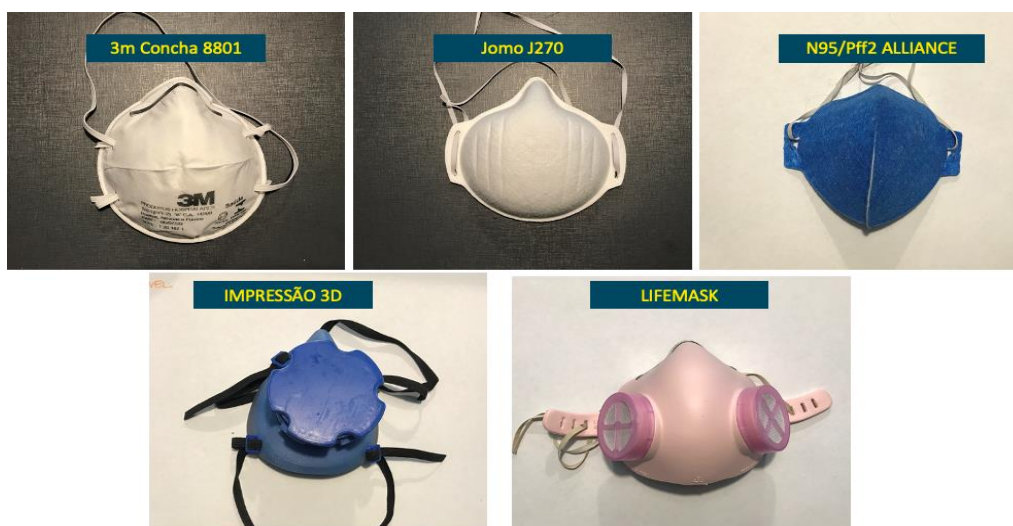
ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho**. [Internet]. 2022. Disponível em: <https://observatoriosst.mpt.mp.br/>

ÜNVER, S., TOPÇU, S.Y.; FINDIK, Ü. Y. Surgical Smoke, Me and My Circle. **International Journal of Caring Sciences**, v. 9, n.2, p. 697-703, 2016.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A

Máscaras adquiridas no mercado e simulação do uso de cada uma para verificação de pontos fortes e fracos



- Estética amigável
- Possui regulador de elástico na máscara
- Veda no rosto
- Confortável no rosto e pele
- Reutilizável



- Filtros salientes
- Elástico enrosca no cabelo
- Ajuste no nariz (metal)
- Pouca altura no queixo
- Pouca flexibilidade (EVA)



- Estética amigável
- Elástico não enrosca no cabelo
- Ajuste no nariz
- Veda no rosto
- Confortável no rosto e pele
- Reutilizável



- Não possui regulador no elástico



- Estética amigável
- Reutilizável



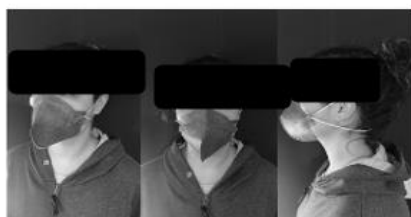
- Pouca altura no queixo
- Não possui ajuste no nariz
- Material sem flexibilidade para adaptação no rosto e expressões
- Elástico enrosca no cabelo
- Sem regulador de elástico
- Não veda no rosto



- Elástico não enrosca no cabelo
- Possui regulador no elástico
- Veda no rosto (fita 3M interna)
- Confortável no rosto e pele
- Reutilizável



- Filtros salientes
- Não possui estética amigável
- Não possui ajuste no nariz
- Material sem flexibilidade para adaptação no rosto e expressões



- Ajuste no nariz
- Veda no rosto  
Confortável no rosto e  
pele
- Reutilizável



- Não possui estética  
amigável
- Não possui regulador  
no elástico
- Elástico enrosca no  
cabelo

**ANEXOS**

## ANEXO A

Home | About PROSPERO | How to register | Service information | Search | My PROSPERO | Logout: **Helenize Ferreira Lima ...**

Click to **show your search history and hide search results**. Open the **Filters** panel to find records with specific characteristics (e.g. all reviews about cancer or all diagnostic reviews etc)






Click to **hide the standard search and use the Covid-19 filters**.

Q CRD42021283517  Go MeSH Clear filters Show filters

**First** **Previous** **Next** **Last** (page 1 of 1)

1 record found for **CRD42021283517**

Show checked records only | Export

<input type="checkbox"/>	Registered 	Title 	Type 	Review status 
<input type="checkbox"/>	06/11/2021	Efficacy between N95/Pff2 masks and the surgical mask in filtering particles from components present in surgical smoke: a systematic review [CRD42021283517]		Review Ongoing