

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Gabriela Simon

O uso da nanotecnologia aplicada às máscaras de proteção: Uma revisão da literatura

BLUMENAU

2021

Gabriela Simon

O uso da nanotecnologia aplicada às máscaras de proteção: Uma revisão da literatura

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Andrea Cristiane Krause Bierhalz

BLUMENAU

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Simon, Gabriela

O uso da nanotecnologia aplicada às máscaras de proteção
: Uma revisão da literatura / Gabriela Simon ;
orientador, Andrea Cristiane Krause Bierhalz, 2021.
56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Máscaras faciais. 3. Têxtil.
4. SARS-CoV-2. 5. Nanomateriais. I. Cristiane Krause
Bierhalz, Andrea . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Gabriela Simon

O uso da nanotecnologia aplicada às máscaras de proteção: Uma revisão da literatura

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Têxtil” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil

Blumenau, 29 de setembro de 2021.

Prof.^a Catia Lange Aguiar, Dr.^a
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Alexandre José Sousa Ferreira, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Ana Paula Serafini Immich Boemo, Dr.^a
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família, que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda força, paciência e dedicação que me presenteou todos os dias.

A meus pais e irmãs, pelos incentivos e apoio incondicional em todos os momentos difíceis da minha trajetória acadêmica.

À minha avó materna, por sempre me incentivar nos meus estudos e torcer por mim.

A meu namorado, por toda compreensão, apoio e carinho.

À minha orientadora por toda a atenção, disponibilidade e conhecimento.

A todos os amigos que a vida me trouxe, e que de alguma forma me ajudaram ao longo da minha jornada.

“Aprendi que a coragem não é a ausência do medo, mas o triunfo sobre ele.”

(Nelson Mandela)

RESUMO

O uso das máscaras faciais, desde os tempos remotos, se faz presente no mundo devido à origem das primeiras doenças contagiosas e pandemias. Porém, com o surto da COVID-19 se espalhando rapidamente e sendo responsável por milhares de mortes por todo o mundo, as máscaras se tornaram peças-chave para proteção, tanto dos profissionais de saúde quanto da população em geral. Com a obrigatoriedade do seu uso, a busca pelo artefato levou a uma escassez no mercado mundial e, como resultado, muitos pesquisadores passaram a buscar alternativas para aumentar a sua capacidade de proteção contra o vírus e evitar a geração de resíduos. Neste sentido, soluções relacionadas à reutilização das máscaras, bem como a busca por alta eficiência de filtração e boa respirabilidade por meio da nanotecnologia têm se mostrado promissoras. O objetivo desta revisão é compilar as pesquisas que realizaram a aplicação de nanomateriais em máscaras de proteção, de modo a analisar as tendências e relevâncias. A partir desse estudo, foi possível verificar que a eletrofiliação é um dos principais processos têxteis utilizados para a adição de nanofibras aos filtros da máscara, aumentando a eficiência de filtração, e ao mesmo tempo, mantendo uma baixa resistência respiratória. A deposição de nanomateriais, como o grafeno e os nanotubos de carbono, podem aumentar a hidrofobicidade da máscara, de modo a evitar que gotículas contaminadas permaneçam em sua superfície. Estes nanomateriais podem, também, promover propriedades auto-esterilizantes, que a partir de um estímulo externo, como luz solar ou eletricidade, gera um aquecimento que desativa o vírus do SARS-CoV-2 e, além disso, podem inibir efetivamente o crescimento de bactérias, fungos e vírus. De forma geral, este estudo evidenciou a importância do setor têxtil e da nanotecnologia para o desenvolvimento de produtos diferenciados, de elevado desempenho e que possam contribuir efetivamente com a sociedade.

Palavras-chave: Máscaras faciais. Têxtil. SARS-CoV-2. Nanomateriais.

ABSTRACT

The use of face masks, since ancient times, is present in the world due to the origin of the first contagious diseases and pandemics. However, with the COVID-19 outbreak spreading rapidly across the world, masks have become one of the key pieces for the protection of health professionals and the general population. With its mandatory use, the search for the artifact has led to a shortage in the world market and, as a result, many researchers have started to look for alternatives to increase their protection capacity against virus and avoid the waste generation. In this sense, solutions related to the reuse of masks, as well as the search for high filtration efficiency and good breathability using nanotechnology is promising. The objective of this review is to compile the researches that carried out the application of nanomaterials in protective masks, in order to analyze trends and relevance. From this study, it was possible to verify that electrospinning is one of the main textile processes used for the addition of nanofibers to mask filters, increasing the filtration efficiency, and at the same time, maintaining low respiratory resistance. The deposition of nanomaterials, such as graphene and carbon nanotubes, can increase the mask's hydrophobicity, in order to prevent contaminated droplets from remaining on its surface. These nanomaterials can also promote self-sterilizing properties, which from an external stimulus, such as sunlight or electricity, generate heat that deactivates the SARS-CoV-2 virus; and in addition, they can effectively inhibit the growth of bacteria, fungi and viruses. In general, this study highlighted the importance of the textile and nanotechnology sector for the development of differentiated products, with high performance and that can effectively contribute to society.

Keywords: Face masks. Textile. SARS-CoV-2. Nanomaterials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Evolução de pesquisas de têxteis médicos durante os últimos 10 anos.....	18
Figura 2- Classificação dos têxteis médicos e algumas aplicações	19
Figura 3- Processamento de não-tecido pelo método contínuo	20
Figura 4- Processamento do não-tecido pelo método à sopro	21
Figura 5- Exemplificação do respirador N95	22
Figura 6- Exemplificação da máscara cirúrgica	23
Figura 7- Exemplificação da máscara de tecido	24
Figura 8- Algumas das aplicações da nanotecnologia.....	28
Figura 9- Algumas das aplicações da nanotecnologia em têxteis	30
Figura 10- Técnica de eletrofiação	31
Figura 11- Processo da revisão de literatura.....	36
Figura 12- Evolução das pesquisas na área de nanotecnologia em máscaras faciais	37
Figura 13- Tendência da busca por máscaras faciais	41
Figura 14- MEV da fibra de polipropileno a) sem tratamento e b) com tratamento com nanotubos de carbono	43
Figura 15- Processo de dessalinização solar a) antes da exposição ao sol e b) após a exposição ao sol.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Principais certificações ABNT relacionadas às máscaras de proteção	26
Quadro 2- Principais nanomateriais e suas aplicações	35
Quadro 3- Máscaras com aplicação de nanotecnologia antes da pandemia.	38
Quadro 4- Pesquisas com objetivo de adquirir hidrofobicidade.....	42
Quadro 5- Aplicações da nanotecnologia para esterilização das máscaras	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de máscaras e suas respectivas propriedades	25
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EF – Eficiência de filtração

OMS – Organização Mundial da Saúde

ISO - *International Organization for Standardization.*

SARS-CoV-2 - Síndrome respiratória aguda grave coronavírus 2

NaCl – Cloreto de sódio

Ag - Prata

AgNO₃ - Nitrato de prata

TiO₂ - Dióxido de Titânio

SiO₂ - Dióxido de silício ou sílica

ZnO - Óxido de Zinco

CuO – Óxido de cobre

PP – Polipropileno

PAN - Poliacrilonitrila

SMS - *Spunbonded-Meltblown-Spunbonded*

SMMMS - *Spunbonded-Meltblown- Meltblown-Meltblown-Spunbonded*

EPIs- Equipamento de proteção respiratória

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	CONTEXTO HISTÓRICO	18
2.1	TEXTÊIS MÉDICOS	18
2.2	MÁSCARAS DE PROTEÇÃO.....	21
2.2.1	Normativas	25
2.3	NANOTECNOLOGIA	27
2.4	NANOTECNOLOGIA TÊXTIL	29
2.4.1	Nanofibras	30
2.4.2	Fibras nanocompósitas.....	31
2.4.3	Nanoacabamento.....	32
2.4.3.1	<i>Nanoestruturas</i>	33
2.4.3.2	<i>Nanocamadas</i>	33
2.4.3.3	<i>Nanorugosidade.....</i>	34
2.4.4	Nanomateriais	34
3	METODOLOGIA.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5	CONCLUSÃO.....	46
5.1	SUGESTÕES FUTURAS	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

As máscaras faciais têm suas raízes na história da medicina e da ciência e seu uso foi recentemente disseminado em todo o mundo devido à pandemia do COVID-19 (do inglês *Corona Virus Disease* do ano de 2019). A adoção de itens semelhantes a máscaras faciais por seres humanos remonta a um passado remoto (MATUSCHEK *et al.*, 2020). Estudos demonstram que em meados do século 6 a.C. as pessoas já utilizavam mecanismos semelhantes a máscaras, sendo que imagens de pessoas usando panos sobre a boca foram encontradas nas portas de tumbas persas (BELL, 2021). As primeiras máscaras médicas foram criadas para combater as primeiras pragas no mundo (PAN *et al.*, 2020).

A Peste Bubônica, também conhecida como Peste Negra, se espalhou por todo o Império Romano no século 6 d.C., e trouxe a primeira máscara facial, que era semelhante a um “bico de pássaro” e incluía lentes de vidro e toucas de couro. Esses bicos eram cheios de especiarias e perfumes para filtrar a praga e mascarar o “ar nocivo” (MATUSCHEK *et al.*, 2020; CONTI, 2020).

Outro momento histórico marcante foi a pandemia de influenza, em 1918. Conhecida como Gripe Espanhola, durou até o final do ano de 1919 e infectou cerca de um quarto da população mundial, sendo marcada como uma das pandemias mais mortais da história (FRIPP *et al.*, 2020). Nessa época, a maioria das máscaras era feita de uma camada de gaze de algodão com ocasionalmente outra camada de um material menos poroso, rodeado por uma armação de metal (PAN *et al.*, 2020).

Em dezembro de 2019 foi identificado um novo vírus chamado SARS-CoV-2, causador da doença coronavírus 2019 ou COVID-19, responsável por quadros respiratórios com a possibilidade de evolução para uma síndrome respiratória aguda grave. Em 11 de março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) decretou a pandemia pelo COVID-19 e, no dia 20 do mesmo mês, o Brasil declarou a transmissão sustentada do vírus (SOEIRO *et al.*, 2020).

Enquanto os pesquisadores trabalhavam no desenvolvimento de vacinas e na elucidação do mecanismo de ação e evolução do prejudicial SARS-CoV-2, a medida de saúde pública mais importante, perdendo apenas para o distanciamento social, foi o uso obrigatório de proteção facial. Os Centros de Controle e Prevenção de Doenças recomendaram em abril de 2020 que o público usasse coberturas faciais em áreas com altas taxas de transmissão com base em evidências epidemiológicas sobre a forte relação entre uso de máscara e controle de

pandemia (PALMIERI *et al.*, 2021). Destaca-se, também, a importância da proteção facial para os profissionais de saúde, suscetíveis a inesperadas exposições durante o trabalho, como sangue, fluidos corporais e contato com patógenos transmissíveis (MITCHELL; SPENCER; EDMISTON, 2015).

Existem vários tipos de máscaras comumente usadas durante a pandemia, incluindo máscaras de proteção de uso não profissional, máscaras cirúrgicas e equipamentos de proteção respiratória (também chamados de respiradores). As características variáveis dos materiais da máscara afetam sua eficácia, particularmente em contexto de controle de origem, restringindo a disseminação viral de uma pessoa infectada para proteger outras pessoas nas proximidades (PAN *et al.*, 2020; PALMIERI *et al.*, 2021).

O método de produção de máscaras mais clássico é a tecnologia de tecido não-tecido com a fibra de polipropileno (PP). Essa fibra é comumente usada em máscaras médicas básicas por suas propriedades não absorventes. Porém, como a superfície da fibra fica propensa a umidade e partículas, a transferência de umidade não é prevenida efetivamente. Por isso, usando essas máscaras por muito tempo, os vírus e as partículas passam do filtro e entram no corpo (AKALIN *et al.*, 2010). Além disso, especialistas estimam que, de maneira geral, o vírus pode sobreviver de 72 a 96 horas nos tecidos (VALADARES, 2020).

A necessidade de maior eficiência para as máscaras de proteção em relação a doenças altamente transmissíveis, como a COVID-19, tem impulsionado a busca por soluções que forneçam funcionalidades aos materiais têxteis, tais como efeito antiviral, repelência a fluidos e fotoatividades. Neste sentido, a nanotecnologia, que é o estudo de materiais na escala nanométrica, possibilita, com suas características de elevada razão área-volume e energia superficial, que os têxteis se tornem multifuncionais sem perder suas propriedades físicas, como o conforto e flexibilidade.

O papel da nanotecnologia é muito procurado no combate a essa pandemia, visto que o SARS-CoV-2 tem uma construção de núcleo no regime nanométrico. Materiais avançados baseados em nanotecnologia são a base de várias tecnologias, desde máscaras e equipamentos de proteção individual até ferramentas diagnósticas específicas que podem diminuir o impacto do COVID-19. O desenvolvimento de produtos baseados em nanotecnologia é, portanto, uma necessidade absoluta para lutar contra o vírus (KARMACHARYA *et al.*, 2021).

O setor têxtil, de forma geral, tem buscado o desenvolvimento de produtos com propriedades diferenciadas e alto valor agregado. As pesquisas com nanomateriais e processos

envolvendo a nanotecnologia, rapidamente impulsionadas pela pandemia, podem ser transpostas para outros produtos e contribuir com o aumento da competitividade do setor.

Por conta desse cenário e da importância de explorar cada vez mais o assunto, surge a seguinte pergunta de pesquisa: qual a relevância do uso da nanotecnologia têxtil em máscaras de proteção?

Dessa forma, em resposta ao problema de pesquisa, este trabalho tem o como objetivo realizar uma revisão de literatura referente ao uso da nanotecnologia com enfoque nas máscaras de proteção faciais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Elucidar o desenvolvimento de máscaras faciais para proteção com utilização de nanotecnologia.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar uma busca na literatura acerca da pergunta de pesquisa;
- b) Realizar uma análise cronológica a fim de verificar o aumento de pesquisas na área;
- c) Conhecer os métodos de aplicação da nanotecnologia às máscaras de proteção;
- d) Identificar os principais nanomateriais aplicados aos materiais têxteis de proteção facial;
- e) Abordar as pesquisas de nanotecnologia correlatas com as máscaras de proteção antes e depois da pandemia;
- f) Abordar os principais desafios quanto a reutilização das máscaras.

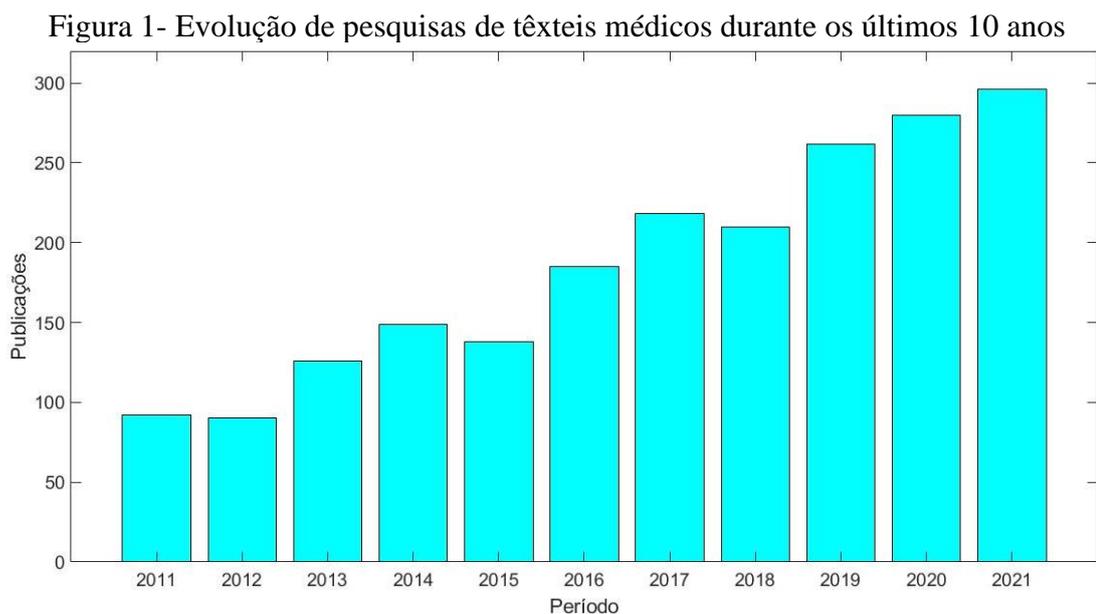
2 CONTEXTO HISTÓRICO

O referencial teórico da presente pesquisa foi estruturado em quatro tópicos, a saber: sobre os têxteis médicos; as diferenças entre as máscaras de proteção, abordando suas características, eficiência e durabilidade; o estudo da nanotecnologia e posteriormente a sua relação com os têxteis e aplicação.

2.1 TEXTÊIS MÉDICOS

Ao longo das últimas décadas, houve significativas mudanças no mercado têxtil, onde os têxteis tradicionais, ou têxteis produzidos principalmente para estética ou decoração, representam uma parte cada vez menor do mercado, enquanto os produtos têxteis técnicos constituem uma porção cada vez mais significativa (UL-ISLAM; BUTOLA, 2020).

A Figura 1 demonstra a evolução das publicações sobre têxteis médicos na base de dados *Google Scholar* nos últimos 10 anos. As palavras-chave selecionadas na pesquisa foram “*medical textile*” e nenhum outro filtro foi adicionado. Observa-se que o ano de 2021 apresentou 280 pesquisas, um total de 320% a mais que o ano de 2011, demonstrando o crescente interesse dos pesquisadores na área.

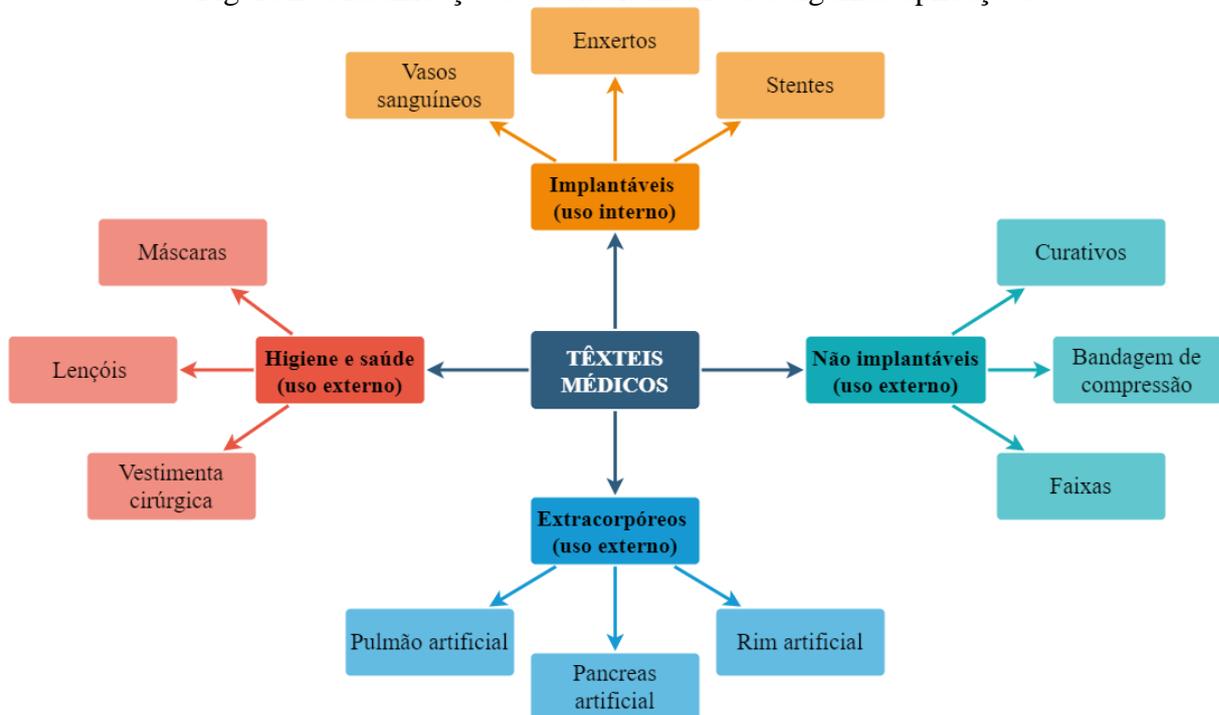


Fonte: Autor (2021)

A exigência de maior nível de tratamento médico e maior qualidade de vida tem aumentado a importância das aplicações de têxteis para usos médicos. Os têxteis médicos são a parte mais essencial e crescente dos têxteis técnicos, também conhecidos como têxteis para cuidados de saúde (PARVIN *et al.*, 2020). Eles podem ser definidos como um termo geral que descreve uma estrutura têxtil que foi projetada e produzida para uso em uma variedade de aplicações médicas, incluindo aplicações implantáveis. Ou seja, a utilização de materiais têxteis para produtos médicos e de saúde vai desde uma simples gaze ou atadura até vasos sanguíneos artificiais (ZHONG, 2013; RIBEIRO, 2021).

Sabe-se que os têxteis convencionais podem carregar e transmitir infecções de uma pessoa para outra por meio do vestuário, roupas de cama e produtos têxteis relacionados ao uso em hospitais e outros ambientes potencialmente de risco. Por isso, os têxteis médicos são usados na fabricação de roupas de proteção pessoal para aplicações médicas ou de saúde, especificamente para mitigar os riscos de exposição a substâncias perigosas, incluindo fluidos corporais, e para minimizar o risco de infecções cruzadas (KENNEDY; KNILL, 2010; KARIM *et al.*, 2020). Os têxteis médicos possuem diferentes aplicações, e podem ser classificados conforme a Figura 2.

Figura 2- Classificação dos têxteis médicos e algumas aplicações



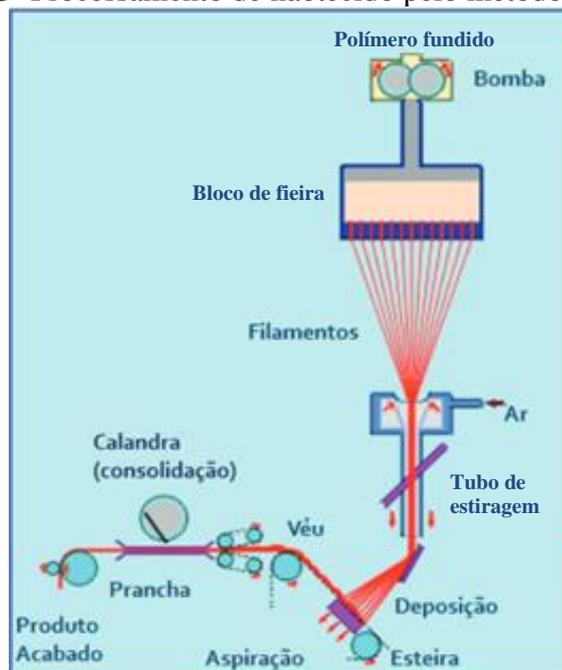
Fonte: Adaptado de Ali e Shavandi (2016) e Zhang e Ma (2018).

Essas aplicações exigem atributos específicos para atender as propriedades funcionais do produto final, e pode ser o resultado do uso de diferentes fibras e estruturas têxteis. As fibras naturais foram os primeiros materiais a serem usados nesse campo, porém com o avanço da tecnologia, as fibras sintéticas como o poliuretano, polipropileno, poliéster e polimetilmetacrilato, passaram a ser bastante consumidas (BELINO *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2014). Uma fibra que avança nos estudos e na aplicação de têxteis médicos são as biodegradáveis, como o colágeno, polilactídeos e poliglicolídeos (FERREIRA *et al.*, 2014; ZHANG; MA, 2018).

De acordo com a estrutura, os têxteis médicos são classificados em tecido plano, de malha, entrançados e não tecidos. Este último constitui mais de 60% do total de produtos usados (ZHANG; MA, 2018). Os métodos de produção não tecidos via fusão são amplamente utilizados na indústria médica. Este método pode ser dividido em fiação contínua (*spunbond*) e fiação a sopro (*meltblown*) (RUSSEL, 2007).

As principais propriedades do método contínuo são a respirabilidade do não tecido, a resistência à penetração de fluido, boa resistência mecânica, esterilidade e impermeabilidade às bactérias (RUSSEL, 2007). Neste processo, indicado na Figura 3, um polímero termoplástico é fundido através de uma fieira, resfriado e estirado, e posteriormente é depositado sobre uma esteira em forma de véu ou manta (ABINT, 2021).

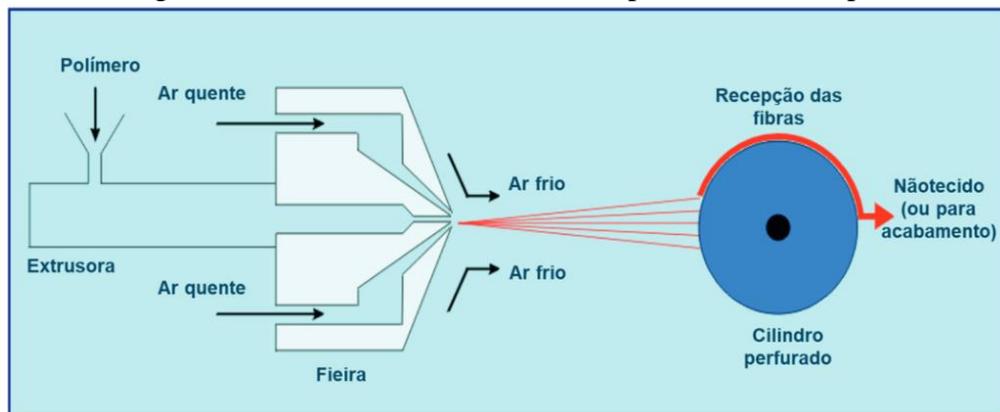
Figura 3- Processamento de não tecido pelo método contínuo



Fonte: Associação brasileira de normas técnicas (2020)

Já o método à sopro é geralmente utilizado onde a aplicação necessita de uma filtração mais crítica (ar, água, sangue e outros fluidos corporais), devido as fibras de diferentes tamanhos e diâmetros muito reduzidos (RUSSEL, 2007). No seu processamento (Figura 4), um polímero termoplástico é fundido através de uma fieira com orifícios muito pequenos, e imediatamente um fluxo de ar quente rapidamente solidifica a massa em fibras muito finas, que são sopradas em alta velocidade para uma tela coletora formando a manta (ABINT, 2021).

Figura 4- Processamento do não tecido pelo método à sopro



Fonte: Associação brasileira de normas técnicas (2020)

Os tecidos médicos que estão em contato direto com a pele, devem ser amigáveis à epiderme. Por isso, o uso de materiais fibrosos exige atributos específicos, necessitando ser atóxicos, não alérgicos e não cancerígenos. Além disso, deve permitir a esterilização sem alterar sua forma física ou características químicas, ser biodegradável ou não biodegradável de acordo com a aplicação, compatível com a maioria dos sistemas vivos, versátil em sua forma física e ter um bom controle de umidade, absorção e fluidos (BELINO *et al.*, 2019).

2.2 MÁSCARAS DE PROTEÇÃO

O uso de máscaras faciais reduz o risco de infecção sempre que houver contato com uma pessoa infectada. Elas atuam como barreiras que impedem partículas virais aéreas e outros contaminantes a entrarem no sistema respiratório. A carga viral filtrada depende totalmente do tipo de máscara utilizada (KARMACHARYA *et al.*, 2021).

Com base na eficiência da filtragem, as máscaras de proteção podem ser classificadas como máscaras cirúrgicas, equipamentos de proteção respiratória (ou comumente chamadas de respiradores) e máscaras de proteção de uso não profissional (ou máscaras caseiras). Essa última

é recomendada apenas para o público em geral, devido as graves condições de escassez de suprimentos de máscaras médicas (DREWNICK *et al.*, 2020; PALMIERI *et al.*, 2021).

Os equipamentos de proteção respiratória (respirador N95 nos Estados Unidos, FFP2 na Europa e PFF2 no Brasil) possuem a maior capacidade de filtragem e se ajustam firmemente ao rosto do usuário. Esses respiradores são geralmente feitos de quatro camadas (Figura 5) compreendendo uma camada de não tecido de PP (produzido por fiação contínua), uma camada de não tecido de algodão (produzido por agulhagem), uma camada de não tecido de PP (produzido por fiação a sopro), e por último mais uma camada de não tecido de PP (produzido por fiação contínua) (ARVIN, 2021). Elas podem ter uma válvula opcional para a regulação da respiração (PALMIERI *et al.*, 2021).



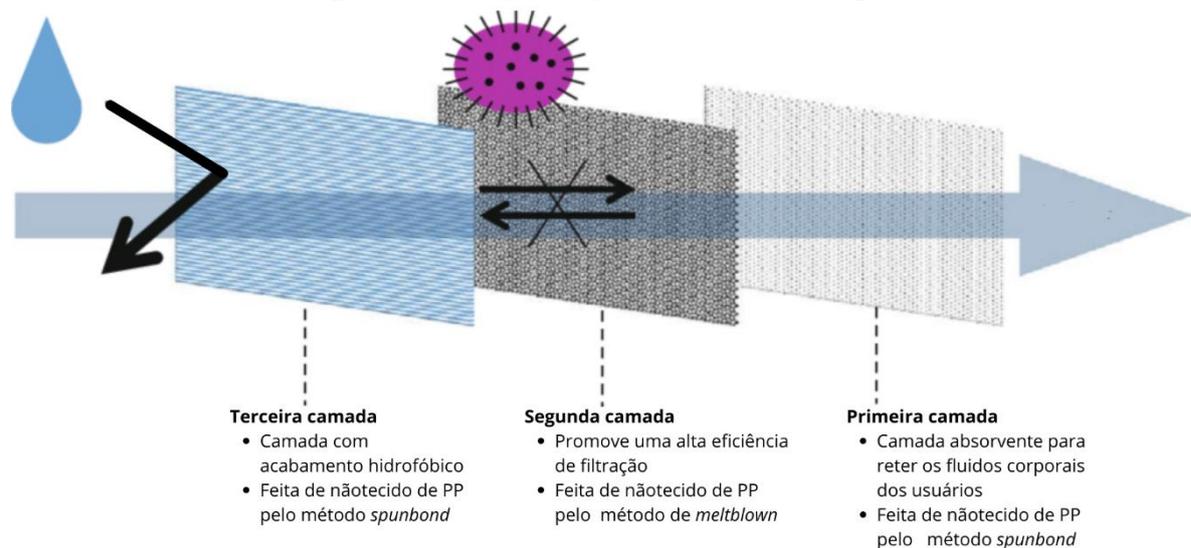
Fonte: Adaptado de Arvin (2021).

O uso prolongado do respirador N95 (inclusive entre pacientes) pode ser seguro por até 8 horas, porém deve-se revisar as recomendações de cada fabricante (SAGES, 2021). Sabe-se que estes dispositivos são normalmente descartados após cada uso. No entanto, devido ao fornecimento limitado da N95 durante a pandemia de COVID-19, a reutilização pode se tornar necessária (CDC, 2021). A técnica de armazenamento mais adequada é pendurar os respiradores para secar ou mantê-los em um recipiente limpo e respirável, como um saco de papel, por pelo menos 72h (SAGES, 2021). Nestas condições de armazenamento a máscara deve ser usada por até 5 vezes, a depender do desempenho de filtragem, da contaminação e

sujeira, do dano, e das condições do elástico ou tira de amarração, pois as mesmas devem estar apropriadamente encaixadas no rosto do usuário para garantir a proteção (CDC, 2021).

As máscaras cirúrgicas se tornaram a máscara protetora mais comum no Brasil. Elas se ajustam livremente no rosto e são projetadas para bloquear gotas respiratórias grandes durante procedimentos cirúrgicos de rotina, mas podem não filtrar com grande eficiência pequenas partículas (PALMIERI *et al.*, 2021). São comumente feitas de três camadas (Figura 6), compreendendo uma camada de não tecido de PP (produzido por fiação contínua), uma camada de não tecido de PP (produzido por fiação a sopro), e por último mais uma camada de não tecido de PP (produzido por fiação contínua). A camada externa é hidrofóbica, enquanto a camada interna é absorvente e está em contato com a pele do usuário (PALMIERI *et al.*, 2021).

Figura 6- Exemplificação da máscara cirúrgica



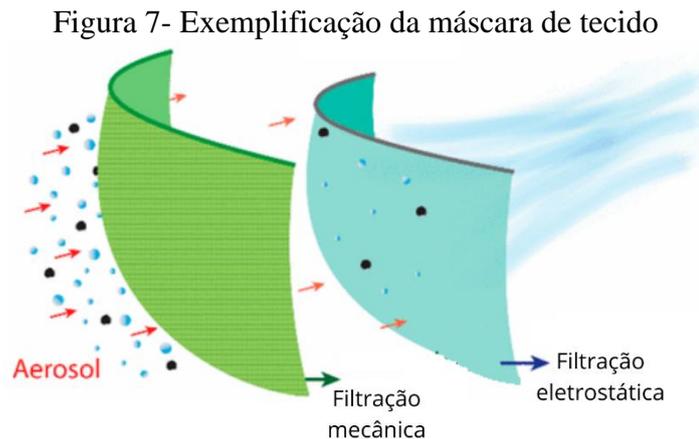
Fonte: Adaptado de Chua *et al.* (2020).

Seu uso máximo é de 2 a 6 horas, a depender do ambiente e da atividade, e posteriormente devem ser descartadas. Ressaltando que se estiver molhada, suja, respingada ou danificada deve ser imediatamente descartada (CEBM, 2020).

As máscaras de proteção de uso não profissional (Figura 7) geralmente são feitas de duas camadas e podem não filtrar partículas muito pequenas, no entanto, elas ainda podem ser capazes de bloquear a emissão de gotículas grandes e são úteis quando o fornecimento de máscaras é limitado na comunidade (PALMIERI *et al.*, 2021). Elas podem variar em relação à

filtragem e resistência a fluidos, dependendo da fibra e da tecnologia usada, do número de camadas e do ajuste ao rosto.

Embora não haja garantia de que uma máscara simples possa prevenir a carga viral, a OMS (2020) aconselhou o uso de máscaras não médicas preparadas com pelo menos três camadas de tecido ou não tecido, dependendo do tipo de tecido.



Fonte: Adaptado de Konda *et al.* (2020)

A Tabela 1 traz a comparação entre as diferentes classes de máscaras citadas e demonstra sua eficiência de filtragem (EF) e a queda de pressão (ΔP). Os valores de EF foram medidos usando partículas de aerossol de Cloreto de sódio (NaCl) com tamanho de 60 a 300 nm. A resistência respiratória foi avaliada por meio da medição da queda de pressão diferencial no material da máscara (MORAES *et al.*, 2021).

Observa-se que a máscara com maior EF é o respirador N95, bem como esperado. As máscaras cirúrgicas são comumente confeccionadas com o tecido SMS (*Spunbonded-Meltblown-Spunbonded*), porém a discrepância da EF com as máscaras de SMS não profissional pode ser justificada através dos acabamentos posteriores, como acabamento hidrofóbico, bem como os testes e sua posterior aprovação através da certificação da norma ABNT NBR 15052. As máscaras de uso não profissional, confeccionadas de maneira caseira, tiveram como destaque os não tecidos, demonstrando que o tecido SMMMMS (*Spunbonded-Meltblown-Meltblown-Meltblown-Spunbonded*) é o mais ideal para confecção das mesmas. As máscaras de algodão, poliuretano e poliéster mostram a EF mais baixa. Considerando a respirabilidade, as máscaras de neoprene e microfibras demonstraram que não são adequadas para o uso, pois apresentaram resistência respiratória muito alta.

Tabela 1- Tipos de máscaras e suas respectivas propriedades

Tipo de máscara	EF (60-300 nm)	ΔP (mmH₂O/cm²)
Respiradores N95	0,98	5,50
Máscaras cirúrgicas	0,89	2,24
Nãotecido (não profissional)	0,78	1,09
SMS nãotecido (não profissional)	0,87	3,94
SMMMS nãotecido (não profissional)	0,91	5,10
Algodão	0,40	5,67
Tecidos combinados	0,83	3,80
Neoprene	0,78	>8,0
Espuma de poliuretano laminada	0,25	0,68
Microfibra	0,51	>8,0
70% poliéster e 30% resina	0,12	0,41

Fonte: Adaptado de Moraes *et al.* (2021).

A adição de uma segunda camada às máscaras caseiras de algodão, foram testadas por Sickbert-Bennett *et al.* (2021). Observa-se que essa adição aumenta a EF, porém diminui a respirabilidade da máscara.

2.2.1 Normativas

Sabe-se que as normas são leis utilizadas para padronizar, e indicar um padrão de qualidade de um determinado produto (IESLA, 2020). Por isso, o Quadro 1 apresenta as principais normas brasileiras ABNT relacionadas com as máscaras de proteção respiratória, que possuem como intuito orientar, padronizar, demonstrar procedimentos ou tratar as definições relacionadas com o tema.

Quadro 1- Principais certificações ABNT relacionadas às máscaras de proteção

Norma/Certificação	Título	Princípio
ABNT NBR 13698:2011	Equipamento de proteção respiratória — Peça semifacial filtrante para partículas	Define a peça semifacial filtrante (PFF) como constituída parcial ou totalmente de material filtrante que cobre o nariz, a boca e o queixo. De acordo com o nível de penetração e resistência à respiração da PFF, medidos nas condições de ensaio, as PFF podem ser classificadas em PFF1, PFF2 e PFF3.
ABNT NBR ISO 16972:2015	Equipamentos de proteção respiratória — Termos, definições, símbolos gráficos e unidades de medida	Define os termos comumente usados e especifica unidades de medida com a finalidade de alcançar uma interpretação uniforme e prevenir uso ambíguo.
ABNT NBR 12543:2017	Equipamentos de proteção respiratória - Classificação	Define termos técnicos utilizados na proteção respiratória. Descreve os procedimentos de utilização, seleção, cuidados e limpeza dos EPI's. Também estabelece uma nomenclatura que deve ser utilizada nos textos, instruções de uso e catálogos dos equipamentos de proteção respiratória.
ABNT PR 1002:2020 Ed.2	Máscaras de proteção respiratória de uso não profissional - Guia de requisitos básicos para métodos de ensaio, fabricação e uso	Orienta em como produzir máscaras para diferentes tipos de rostos, incluindo o infantil, métodos de inspeção e ensaios para testar a eficiência das máscaras de uso não profissional,

		independentemente do número de camadas e do tipo de material utilizado.
ABNT PR 1005:2020	Máscaras cirúrgicas - Guia de requisitos básicos para métodos de ensaio, fabricação e uso	Apresenta um guia orientativo sobre máscaras cirúrgicas, contendo requisitos relacionados a matérias-primas, fabricação, design, embalagem, rotulagem, desempenho, normalização, legislação e regulamentação.
ABNT NBR 15052:2021	Máscara de uso odontológico-hospitalar - Requisitos e métodos de ensaio	Descreve os requisitos de uma máscara cirúrgica para eficiência de filtração de partículas, eficiência de filtração bacteriana, pressão diferencial, resistência à tração de elásticos e tiras, resistência à penetração de fluidos e classificação quanto à propagação da chama.

Fonte: Autor (2021)

2.3 NANOTECNOLOGIA

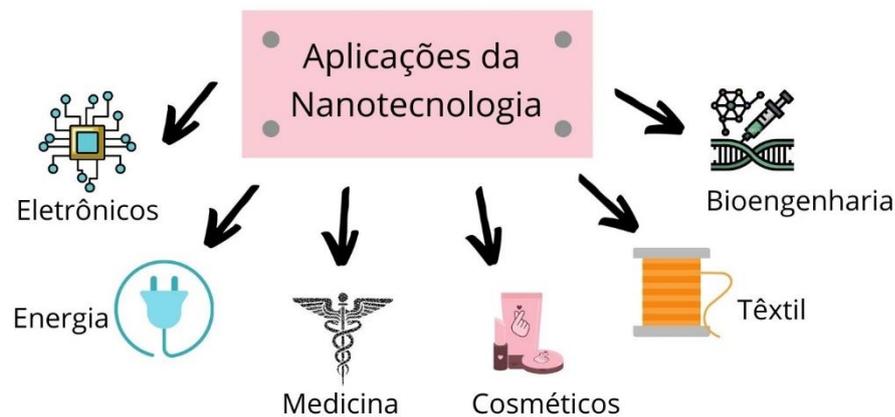
O termo nanotecnologia vem do nanômetro, que é uma unidade de medida de um bilionésimo de um metro de comprimento (SCHULZ, 2005). De acordo com a ISO (2015), a nanotecnologia é a aplicação do conhecimento científico para manipular e controlar a matéria predominantemente em nanoescala (faixa de comprimento aproximadamente de 1 nm a 100 nm), a fim de fazer uso de propriedades dependentes de tamanho, estrutura e fenômenos distintos daqueles associados a átomos ou moléculas individuais, ou extrapolação de tamanhos maiores do mesmo material.

Uma das razões mais importantes para estudar nanotecnologia é a nanoescala, pois é onde que as propriedades físicas e químicas fundamentais de um material e sistema são determinadas. Essas propriedades fundamentais incluem sua temperatura de fusão,

condutividade térmica, condução elétrica, resistência à tração e até mesmo a cor. Isso cria uma situação interessante, onde um material pode ter um conjunto de propriedades na escala convencional e um conjunto diferente de propriedades em nanoescala. A razão para isso é que há modificação contínua das características do material com sua mudança de tamanho (PATRA; GOLDA, 2013).

Outra característica interessante da nanotecnologia é que ela não se limita apenas a um pequeno campo da ciência. As implicações de alterar as propriedades físicas e químicas de um material podem influenciar muitos campos existentes da ciência e tecnologia. É quase impossível compreender o potencial da nanotecnologia no futuro da humanidade (DAHMAN, 2017). Alguns dos campos de aplicação mais comuns estão dispostos na Figura 8.

Figura 8- Algumas das aplicações da nanotecnologia



Fonte: Autor (2021)

A nanotecnologia tem contribuído muito para grandes avanços na computação e na eletrônica, levando a sistemas mais rápidos, menores e mais portáteis que podem gerenciar e armazenar quantidades cada vez maiores de informações. A aplicação na medicina baseia-se na escala natural dos fenômenos biológicos para produzir soluções precisas para a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças. Além disso, está encontrando aplicação em fontes de energia tradicionais e está aprimorando muito as abordagens de energia alternativa para ajudar a atender às crescentes demandas mundiais de energia. Muitos cientistas estão procurando maneiras de desenvolver fontes de energia limpas, acessíveis e renováveis, junto com meios para reduzir o consumo de energia e diminuir os encargos de toxicidade para o meio ambiente (NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE, 2021).

2.4 NANOTECNOLOGIA TÊXTIL

Das muitas aplicações da nanotecnologia, a indústria têxtil é um dos setores mais beneficiado. A aplicação da nanotecnologia na indústria têxtil tem potencial para aumentar a durabilidade dos tecidos, seu conforto, conferir diferentes funcionalidades e também reduzir seu custo de produção (PATRA; GOLDA, 2013). As propriedades únicas e novas dos nanomateriais têm atraído não apenas cientistas e pesquisadores, mas também empresas, devido ao seu enorme potencial econômico (KIRON, 2013).

A grande relação área-volume e a alta energia superficial garantem uma maior afinidade com os tecidos e levam a um aumento na durabilidade na função desejada do tecido (KIRON, 2013). O tamanho da partícula também desempenha um papel fundamental na determinação da sua adesão às fibras. Enquanto os maiores aglomerados de partículas podem ser facilmente removidos da superfície da fibra, a menor partícula vai penetrar mais profundamente e aderir fortemente à matriz do tecido. Ou seja, diminuindo o tamanho das partículas para nanoescala dimensional, as propriedades fundamentais mudam (PATRA; GOUDA, 2013).

Uma grande variedade de novos têxteis nanotecnológicos já está disponível comercialmente, a Figura 9 ilustra algumas aplicações. O uso da nanotecnologia permite que os têxteis se tornem multifuncionais e desempenhem funções especiais, incluindo antibactericida, proteção UV, facilidade de limpeza, repelência a água e manchas e anti-odor (PATRA; GOUDA, 2013).

As duas grandes vertentes da nanotecnologia têxtil são a obtenção de fibras com dimensões nanométricas para aplicações específicas ou a incorporação de nanomateriais durante ou após o processamento das fibras convencionais para obter novas ou melhoradas propriedades.

Figura 9- Algumas das aplicações da nanotecnologia em têxteis



Fonte: Adaptado de Yetisen (2016)

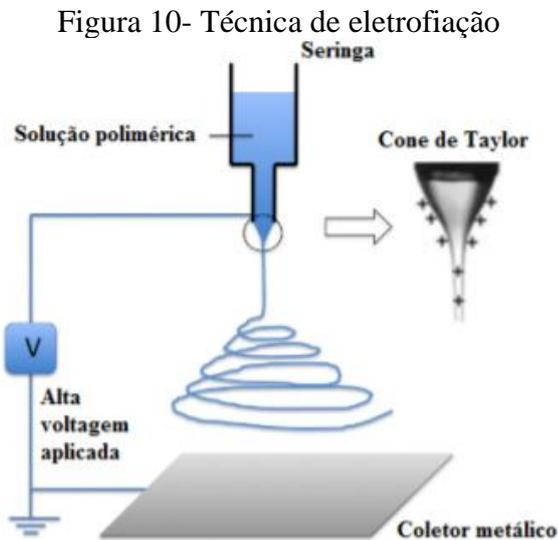
2.4.1 Nanofibras

As nanofibras são fibras que se encaixam na escala nanométrica e são caracterizadas por terem diâmetros pequenos, comprimentos longos, alta área superficial por unidade de massa, poros pequenos, estruturas contínuas e possuem alta resistência axial com alta flexibilidade (SILVA *et al.*, 2015). Duas técnicas distintas destacam-se para a obtenção de nanofibras: a eletrofiação (*electrospinning*) e a fiação a sopro em solução (*solution blow spinning*) (OLIVEIRA, 2016).

A técnica mais utilizada, atualmente, para a produção das nanofibras é a eletrofiação. O princípio dessa técnica é baseado na “atração eletrostática” de cargas entre o polímero e um coletor metálico, conforme apresentado na Figura 10. A solução polimérica é ejetada a uma taxa constante utilizando-se uma bomba de injeção acoplada a uma seringa, na qual contém uma agulha metálica conectada a uma fonte de alta tensão. O campo elétrico transforma a gota de solução polimérica numa estrutura chamada cone de Taylor. Isto acontece, porque a tensão superficial da solução é contrária à força elétrica, forçando à geometria cônica. Quando o campo elétrico atinge um valor crítico, ele supera a tensão superficial da gota carregada formando um jato e esticando a solução em direção ao alvo. No caminho até o coletor, o solvente evapora espalhando e solidificando a solução de polímero em forma de grãos, que com a aceleração são estirados (OLIVEIRA, 2016; ZADAROKI, 2013; SOUZA, 2016).

As aplicações abrangem diversos campos, como, por exemplo, a filtração seletiva de líquidos, liberação controlada de fármacos, membranas de atividade, recuperação de íons

metálicos, roupas de proteção, curativos, engenharia de tecidos (*scaffolds*), sensores e barreiras de materiais para armazenamento de energia (THENMOZHI *et al.*, 2017).



Fonte: Toniato (2015)

A técnica de fiação a sopro em solução é constituída por um bocal interno na qual uma solução de polímero é bombeada e o gás pressurizado é fornecido por um bocal externo concêntrico. A partir do momento em as forças aerodinâmicas provenientes do gás superam a tensão superficial gerada pela solução polimérica, os fluxos da solução são lançados ao coletor. Durante o percurso, o solvente da solução evapora formando fibras que podem ser na escala micro ou nano, a depender das condições de processamento (SILVA *et al.*, 2015).

2.4.2 Fibras nanocompósitas

O material compósito polimérico é aquele que utiliza polímero como matriz e uma fibra ou partícula como reforço, de modo a melhorar as propriedades individuais de cada material (DEPAAK *et al.*, 2018). Nanocompósitos podem ser definidos como uma mistura de dois ou mais materiais, nas quais pelo menos uma das fases apresenta dimensões na faixa nanométrica (ESTEVEZ *et al.*, 2004). Essa incorporação pode resultar em uma grande variedade de materiais nanocompósitos poliméricos que podem ter diversas propriedades desejáveis como: ópticas, elétricas, magnéticas, térmicas ou mecânicas (MISHRA; MILITKY, 2019).

Os compósitos convencionais se diferem dos nanocompósitos, pois a adição de um novo material é comumente acompanhada por uma perda de outras propriedades importantes, como rigidez, perda de resistência ou elasticidade. Já no caso dos nanocompósitos, a perda de algumas propriedades pode ser minimizada ou evitada. Além disso, pode melhorar simultaneamente uma série de propriedades com a incorporação de nanopartículas no polímero (MISHRA; MILITKY, 2019).

O processamento das fibras nanocompósitas se dá no momento da sua formação, o que permite uma maior durabilidade das propriedades ou funcionalidades requeridas. Vários métodos de processamentos são citados na literatura, porém os mais comuns são a mistura por fusão, polimerização *in situ* e a mistura por solução.

No método de mistura por fusão, as nanopartículas são diretamente dispersas no termoplástico fundido. Em geral, altos níveis de tensão de cisalhamento reduzem o tamanho dos aglomerados. Inicialmente, grandes aglomerados se quebram e formam outros menores dispersos pela matriz polimérica. A transferência de tensão do polímero para esses novos aglomerados leva a um cisalhamento mais forte, que os quebra em partículas individuais. Essa etapa depende fundamentalmente do tempo e da afinidade química entre o polímero e a superfície das nanopartículas (OLIVEIRA, 2019).

Durante a polimerização *in situ*, a nanopartícula é dispersa na solução de monômero antes do início do processo de polimerização, garantindo que o polímero seja formado entre as nanopartículas. Em seguida a polimerização começa por calor, por uso de um iniciador apropriado, radiação, entre outros métodos (OLIVEIRA, 2019).

A mistura por solução consiste em dispersar o polímero e a nanopartícula em um solvente apropriado. Podem ser usadas irradiações ultrassônicas, agitação magnética ou mesmo mistura de cisalhamento para dispersar o “nanoenchimento” para dentro do polímero. Neste método, quando o solvente evapora, a nanopartícula permanece dispersa nas cadeias de polímero (OLIVEIRA, 2019).

2.4.3 Nanoacabamento

A modificação de materiais têxteis por acabamento ou revestimento é amplamente utilizada para melhorar sua qualidade e adicionar funcionalidades ou novas propriedades, como resistência ao enrugamento, solidez à luz, retardamento de chama, proteção anti-UV, ação

antiestática, repelência de água, ou óleo, além de fornecer propriedades antimicrobianas e antivirais (JOSHI *et al.*, 2010).

Geralmente os nanoacabamentos podem ser classificados em três principais categorias: nanoestruturas, nanocamadas e nanorugosidade.

2.4.3.1 Nanoestruturas

O acabamento de materiais têxteis com nanopartículas ou nanocompósitos pode ser classificado por dois mecanismos principais: processos de uma etapa (*in situ*) e processo de duas etapas (*ex situ*). No método *ex situ* a pré-síntese de nanopartículas ocorre em uma primeira etapa e posteriormente a sua adesão a superfície têxtil. A deposição por este método ocorre por meio dos acabamentos convencionais, como a estamparia por transferência, *spray* e impregnação por foulardagem. Nesta técnica, a etapa final de fixação é geralmente necessária para obter propriedades (MONTAZER e HARIFI, 2018).

Já no método *in situ*, a síntese das nanopartículas e sua deposição na superfície são realizadas simultaneamente, o que o torna rápido, fácil de usar e econômico (SOUZA, 2015).

2.4.3.2 Nanocamadas

Outra categoria de nanocabamento é baseada na formação de uma ou várias camadas na superfície do substrato têxtil com espessura nanométrica. Este processo pode ser chamado de *nanocoating*, e fornece significativa resistência à corrosão, força e durabilidade, além de melhorar ou transmitir funcionalidade com a menor alteração nas propriedades básicas dos substratos (MONTAZER e HARIFI, 2018).

Pode ser realizado usando vários métodos, incluindo deposição de vapor, técnicas assistidas por plasma ou feixe de íons, redução química, deposição de laser pulsado, fresagem mecânica, pulverização catódica de magnetron, automontagem, revestimento *layer-by-layer*, revestimento por imersão, revestimento sol-gel e deposição eletroquímica (MONTAZER e HARIFI, 2018).

2.4.3.3 Nanorugosidade

A nanorugosidade em acabamentos é tratada como a criação de rugosidade em nanoescala na superfície tratada. Isso inclui uma distribuição aleatória de nanopartículas na superfície, técnicas de modificação de superfície física, como UV/O₃ produzindo rugosidade de superfície nanométrica, e rugosidade de superfície de vários tamanhos, também conhecida como rugosidade de escala dupla (MONTAZER e HARIFI, 2018).

A aspereza da superfície de um material é um fator importante que afeta fortemente o comportamento de umedecimento de uma superfície, dependendo sobre sua hidroflicidade ou hidrofobicidade. Assim, a rugosidade aumenta a hidrofilia de uma superfície hidrofílica enquanto melhora a hidrofobia de uma superfície hidrofóbica. Para obter superfícies superhidrofóbicas, é necessária uma combinação de baixa energia superficial e rugosidade superficial (MONTAZER e HARIFI, 2018).

2.4.4 Nanomateriais

Diversos nanomateriais, sobretudo os metálicos e óxidos metálicos, têm sido utilizados para atribuir funcionalidades e propriedades aos substratos têxteis. O Quadro 2 fornece informações sobre os nanomateriais frequentemente mais utilizados para funcionalização em têxteis. Pode-se observar que um mesmo nanomaterial pode apresentar múltiplas propriedades, o que os tornam atrativos para o desenvolvimento de têxteis multifuncionais.

Quadro 2- Principais nanomateriais e suas aplicações

Nanomaterial	Propriedades	Referência
Óxido de Zinco (ZnO)	Proteção UV, foto-oxidante, fotocatalítico, antimicrobiano, anti-estático, autolimpeza.	Montazer e Harifi (2018), Choi <i>et al.</i> (2017)
Dióxido de titânio (TiO ₂)	Autolimpeza, proteção UV, antibacteriana, anti-reflexiva, superhidrofobicidade, fotocatalítica	Choi <i>et al.</i> (2017), Saleem e Zaidi (2020)
Nanotubo de carbono	Eletrodo condutor, reforço mecânico, sensor de umidade e tensão, supercapacitor, retardante de chama, anti-amarrotamento.	Choi <i>et al.</i> (2017), Shahid e Moazzenchi (2018)
Prata (Ag)	Antibacteriana, antimicrobiana, condutividade elétrica	Saleem e Zaidi (2020), Choi <i>et al.</i> (2017)
Sílica (SiO ₂)	Superhidrofobicidade, resistência a abrasão, repelência a sujeira	Saleem e Zaidi (2020), Choi <i>et al.</i> (2017)
Grafeno	Antibacteriano, resistência ao fogo, anti-UV e condutividade elétrica	Ramaiah <i>et al.</i> (2021)

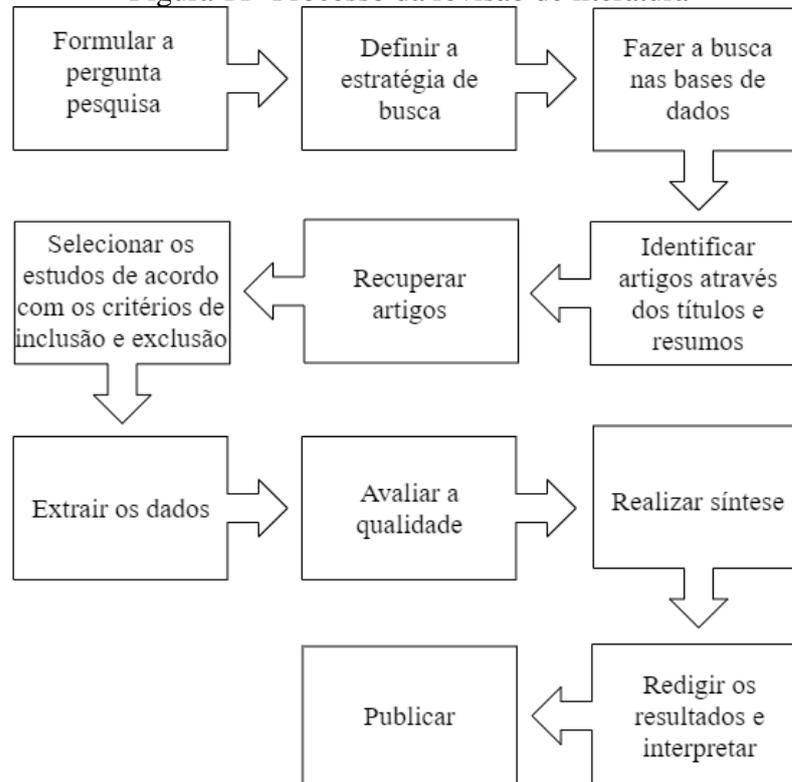
Fonte: Autor (2021)

3 METODOLOGIA

A fim de realizar uma análise da literatura de um determinado objetivo de estudo, as revisões de literatura são uma forma de pesquisa em fontes de informação, tanto bibliográfica quanto eletrônicas, que reúnem dados de demais autores acerca de um tema e a análise crítica pessoal do autor (ROTHER, 2007).

Por tanto, a fim de responder à pergunta de pesquisa, foi realizada uma revisão de literatura a partir de uma pesquisa teórica abordando e reunindo todas as formas de nanotecnologia aplicada a máscaras de proteção, a fim de verificar a sua relevância. A metodologia do processo de revisão realizado é resumida na Figura 11. A base de dado utilizada foi o “*Google Scholar*”, e as palavras-chave utilizadas foram “*nanotechnology AND face masks*” e “*nano AND face masks*”. O intervalo de tempo foi limitado dos anos 2000 até 2021.

Figura 11- Processo da revisão de literatura

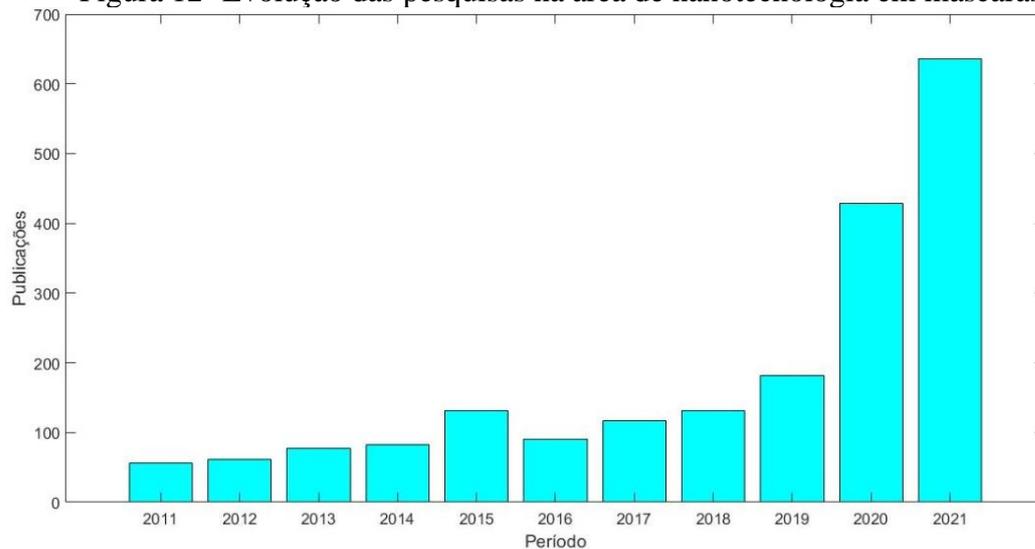


Fonte: Adaptado de Brereton *et al.* (2007)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pandemia pela COVID-19 aumentou a popularidade da aplicação da nanotecnologia, especialmente às máscaras faciais. Porém, a pesquisa deste campo não é nova. A Figura 12 demonstra as publicações sobre nanotecnologia aplicada em máscaras faciais na base de dados *Google Scholar* nos últimos 10 anos. As palavras-chave selecionadas na pesquisa foram "*nanotechnology*" AND ("*face mask*" OR "*face masks*"). Observa-se que o ano de 2021, até o momento da pesquisa (mês de agosto), obteve 636 pesquisas, 150% maior comparado ao ano de 2020 e 350% maior do que o ano de 2019. Este resultado demonstra o grande interesse no tema, o qual foi impulsionado pela pandemia de COVID-19 e pela urgência em sistemas eficazes de proteção facial.

Figura 12- Evolução das pesquisas na área de nanotecnologia em máscaras faciais



Fonte: Autor (2021)

As máscaras de proteção fazem parte da rotina dos mais diversos segmentos profissionais, e estão entre os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) mais importantes no que diz respeito à preservação da saúde e bem-estar dos trabalhadores, como médicos, dentistas, enfermeiros, biomédicos, esteticistas, bombeiros, padeiros e mineradores. Em países como o Japão, o seu uso já era uma questão cultural para a população antes mesmo da pandemia, e possuía o intuito de proteger os outros ou a si mesmos de alguma doença, esconder sua falta de maquiagem, preservar sua privacidade ou como uma barreira contra a poluição do ar (VALENCIA, 2020).

O Quadro 3 demonstra algumas das aplicações da nanotecnologia nas máscaras antes da pandemia. Observa-se, que de maneira geral, as buscas por máscaras com alta eficiência de filtração, boa respirabilidade e com propriedades extras já vinham sendo desenvolvidas, com o intuito evitar infecções por agentes infecciosos (LI *et al.*, 2006; BORKOW *et al.*, 2010; SKARIA e SMALDONE, 2014), filtrar materiais particulados advindos da poluição do ar (LI e GONG, 2015; SANGEETHA *et al.*, 2014), além de proporcionar conforto ao usuário (YANG *et al.*, 2017).

Estudos mais antigos, como de Li *et al.* (2006) já estudavam a aplicação de nanotecnologia em máscaras. Neste estudo foram aplicadas, na parte externa de uma máscara cirúrgica comercial, nanopartículas de nitrato de prata (AgNO_3) e de dióxido de titânio (TiO_2) visando efeito antimicrobiano. Esses agentes químicos foram pulverizados em partículas menores que 100 nm para aumentar sua área superficial e melhorar sua ação microbicida. A

presença deste revestimento antimicrobiano visa oferecer proteção adicional aos profissionais de saúde da linha de frente contra patógenos hospitalares comuns. As máscaras demonstraram ter efeito *in vitro* contra os microorganismos *E. coli* e *S. aureus*.

Quadro 3- Máscaras com aplicação de nanotecnologia antes da pandemia.

Objetivo	Propriedade requerida	Autor
Revestir a camada externa de uma máscara cirúrgica comercial com nanopartículas de nitrato de prata e de dióxido de titânio	Efeito antimicrobiano	Li <i>et al.</i> (2006)
Depositar nanofibras de poliamida em um substrato de PP, e a consequente eletropulverização de dióxido de titânio	Alta filtração e hidrofobicidade	Lee <i>et al.</i> (2009)
Impregnação de óxido de cobre na fabricação de fibras sintéticas da N95	Biocidas anti-influenza	Borkow <i>et al.</i> (2010)
Revestimento com nanofibra na camada externa	Alta eficiência de filtração e boa respirabilidade	Skaria e Smaldone (2014)
Depositar nanofibras de poliácridonitrila e óxido de zinco em um substrato não-tecido de liocel	Alta eficiência de filtração e atividade antimicrobiana	Pragadheeswari <i>et al.</i> (2014)
Depositar nanofibras à base de polissulfona em um substrato de não-tecido de PP	Alta eficiência de filtração e boa respirabilidade	Li e Gong (2015)
Depositar nanofibras de poliamida em um substrato não-tecido de polietileno nanoporoso	Conforto térmico	Yang <i>et al.</i> (2017)
Deposição de nanofibras de diacetato de celulose, poliácridonitrila e polifluoreto de vinilideno em substratos de politereftalato de etileno, para vias de comparação	Alta eficiência de filtração e boa respirabilidade	Tan <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Autor (2021)

Borkow *et al.* (2010) estudaram a ação biocida de uma máscara com impregnação de nanopartículas de óxido de cobre (CuO) em 3 das 4 camadas de não tecido de um respirador N95 comercial. De acordo com os autores, a tecnologia de impregnação utilizada introduz permanentemente CuO em materiais poliméricos, conferindo-lhes potentes propriedades biocidas contra o vírus influenza, sem alterar a capacidade de filtração das máscaras. Ressalta-se que mesmo a última camada em contato com a pele não causou qualquer sensibilização ou irritação na pele (conforme teste em animais).

Yang *et al.* (2017) verificaram que o uso de máscaras faciais em condições de calor e umidade aumenta o estresse causado pelo calor, suor e desconforto. O uso de nanofibras de nylon-6 em um substrato de polietileno nanoporoso fornece uma boa filtragem de partículas e uma alta transmitância da radiação infravermelha (baseado na radiação do corpo), gerando um efeito de resfriamento. Por outro lado, ao adicionar uma camada de Ag a esses materiais, é fornecida uma alta refletância infravermelha e um efeito de aquecimento. Essas máscaras podem ser usadas no verão/inverno para proteger as pessoas do ar poluído, enquanto mantém o rosto do usuário fresco/quente e confortável.

Lee *et al.* (2009) estudaram a deposição de nanofibras de poliamida em um filtro de não tecido de PP, e a posterior eletropulverização de TiO₂ diretamente sobre a nanofibra. O substrato de não tecido foi revestido por imersão com uma solução de sílica sol-gel para melhorar a adesão das nanofibras eletrofiadas ao tecido hidrofóbico, formando grupos de silanol. Após a eletrofição das nanofibras de poliamida, ocorreu a eletropulverização das nanopartículas de TiO₂ sobre as nanofibras. Os resultados deste estudo mostram que é possível combinar a proteção das nanofibras, que permite uma maior filtração de partículas, e as propriedades fotocatalíticas e superhidrofóbicas do TiO₂.

Pragadheeswari *et al.* (2014) desenvolveram uma máscara semelhante à cirúrgica, porém depositando, por meio da eletrofição, nanofibras de poliácridonitrila (PAN) na camada composta do não tecido de PP formado por fiação contínua. Observou-se que a eficiência de filtração aumentou de 80% para 99% com a adição das nanofibras, bem como obteve um aumento significativo da permeabilidade ao ar.

Skaria e Smaldone (2014) incorporaram um meio filtrante de nanofibra em uma máscara cirúrgica. A partir de testes com aerossóis polidispersos com a massa média de 0,95 µm, foi observado que a máscara com filtro de nanofibra é capaz de filtrar de forma mais eficiente do que as máscaras cirúrgicas comerciais, e quando seladas, ou seja, sem

espaçamentos para a saída de ar, a máscara obteve uma filtragem de ar quase similar a N95, e uma diminuição da resistência respiratória.

Li e Gong (2015) sintetizaram, a partir da eletrofiação em um substrato não-tecido de PP, uma nanofibra à base de polissulfona. Este material pode filtrar com eficiência os materiais particulados de 2,5 μm ou menos e, simultaneamente, preservar uma boa respirabilidade. Com isto, este material à base de nanofibras seria transformado em uma máscara confortável e eficaz para evitar a inalação de partículas nocivas na poluição do ar nebuloso.

Tan *et al.* (2019) realizaram a substituição da camada composta do não-tecido de PP formado por fiação a sopro de máscaras cirúrgicas, por um substrato de politereftalato de etileno funcionalizado de três maneiras diferentes. Nanofibras de PAN, diacetato de celulose e polifluoreto de vinilideno foram eletrofiadas separadamente em três amostras do substrato. Todas as amostras apresentaram poros e queda de pressão bem menores quando comparados à máscara cirúrgica comercial. A eficiência de filtragem foi muito maior para as máscaras com uso de nanofibra. Entre as amostras, a que obteve melhores resultados em todas as avaliações foi a PAN.

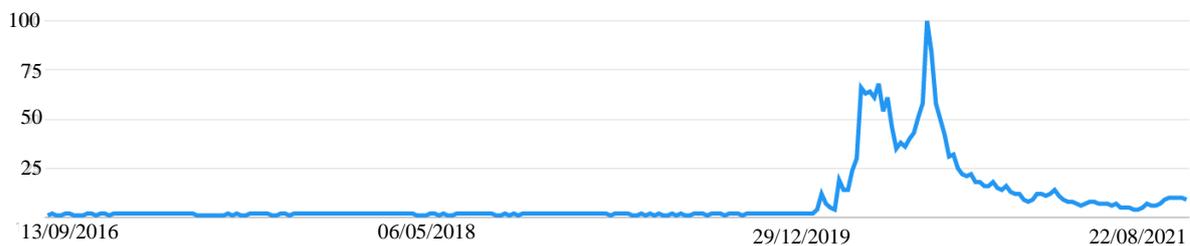
A partir destes estudos, pode-se verificar que a adição de uma nanofibra sobre a máscara ou a substituição da camada filtrante por um filtro revestido de nanofibra, aumenta a eficiência de filtração de uma máscara, além de diminuir a resistência respiratória. Os meios filtrantes baseados em nanofibras eletrofiadas possuem uma alta proporção de superfície/volume, baixa queda de pressão, além de distribuição de poros e morfologia controláveis, tornando-os desejáveis para obter excelente filtragem (ESSA *et al.*, 2021).

Em contraste com os meios filtrantes eletrostáticos de máscaras convencionais, as eficiências de filtração das nanofibras dependem do mecanismo de filtração mecânico, ou seja, os poros menores e a sua distribuição filtram fisicamente aerossóis que contêm poeira ou vírus nocivos e não se degradam com o tempo (AKDUMAN, 2019; ESSA *et al.*, 2021). Percebe-se que as nanofibras são dispostas em um substrato têxtil, geralmente de não-tecido, isso se deve à sua fragilidade, não conseguindo atuar individualmente como filtro (ESSA *et al.*, 2021).

Ullah *et al.* (2020) desenvolveram um estudo comparativo das propriedades de desempenho de máscaras à base de nanofibras e do respirador N95, frente a limpeza por pulverização e imersão de etanol 75%. Verificou-se que a eficiência de filtração da N95 decaiu significativamente após o tratamento com etanol, enquanto o filtro de nanofibras exibiu alta e consistente eficiência de filtração, independentemente dos processos de limpeza. Por tanto, as nanofibras além de oferecerem alta filtração e respirabilidade, podem ser tratadas e reutilizadas.

Com o crescimento da pandemia e o uso obrigatório das máscaras, a busca pelas máscaras faciais de proteção teve um grande pico de popularidade entre 2020 a 2021, conforme levantamento de busca na plataforma do *Google Trends* (Figura 13) com as palavras “*face masks*” abrangendo todo o mundo na pesquisa. A alta procura e a grande escassez de máscaras, levaram a disputa global por equipamentos médicos, sendo denominada pelos franceses de “caça ao tesouro global” (LISTER *et al.*, 2020).

Figura 13- Tendência da busca por máscaras faciais



Fonte: Autor (2021)

Em resposta a produção insuficiente de insumos, países como a China passaram a aumentar seus investimentos e produções. Em janeiro de 2020, a China produzia cerca de 20 milhões de máscaras por dia, o que não atendia a demanda total estimada em 240 milhões de máscaras diárias para equipar os trabalhadores de saúde, manufatura e transporte. A produção chinesa aumentou seis vezes e atingiu 116 milhões de máscaras diárias no final de fevereiro e possivelmente 200 milhões no final de março (um aumento de dez vezes) (OCDE, 2020).

Considerando que as máscaras cirúrgicas e N95 devem ser descartadas após o uso, o desperdício resultante é demasiadamente elevado. Para processar essas máscaras usadas, a maioria dos países só pode usar a incineração para tratar esses resíduos médicos, devido à possível contaminação. Os gases tóxicos resultantes e a alta emissão de carbono prejudicam muito o meio ambiente (ZHONG *et al.*, 2020). Por isso, os pesquisadores passaram a procurar soluções para reutilização destas máscaras, e a nanotecnologia surgiu como uma solução de fácil acesso, e ótimos resultados.

Alguns dos desafios para esta reutilização são que, em primeiro lugar, embora as superfícies das máscaras cirúrgicas e N95 sejam hidrofóbicas, gotículas de água contendo vírus perigosos podem permanecer nelas. Em segundo, a esterilização das máscaras com métodos convencionais, que sejam viáveis ao público, afeta diretamente a eficiência de filtração das

mesmas (ULLAH *et al.*, 2020), portanto, é um desafio reutilizá-las. Terceiro, as máscaras usadas são difíceis de reciclar, pois os vírus capturados podem permanecer em suas superfícies (ZHONG *et al.*, 2020).

Em resposta ao primeiro desafio citado, o Quadro 4 apresenta algumas das pesquisas realizadas com intuito de aumentar a hidrofobicidade das máscaras. Com tais propriedades superhidrofóbicas adquiridas, as gotas de água contaminadas podem rolar livremente sem se fixar na superfície da máscara.

Quadro 4- Pesquisas com objetivo de adquirir hidrofobicidade.

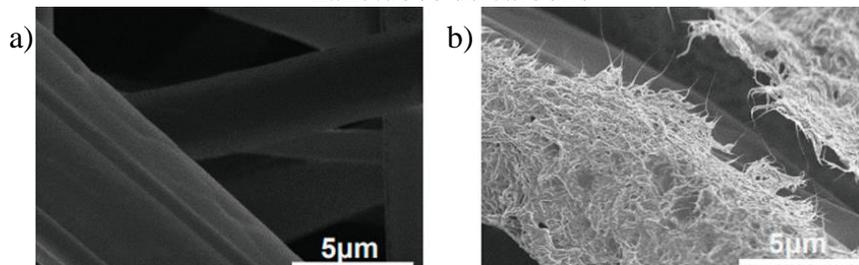
Tratamento	Ângulo de contato inicial	Ângulo de contato após tratamento	Referência
Aplicação de um revestimento de grafeno na camada externa de uma máscara cirúrgica por indução a laser	110°	141°	Zhong et al. (2020)
Máscara baseadas em nanofolhas de grafeno incorporadas em um filme de carbono através de extrusão ultrassônica	113,2°	157,9°	Lin <i>et al.</i> (2020)
Incorporação de uma membrana de poliimida nanoporosa na camada externa de uma máscara N95	> 90°	> 150°	El-Atab et al. (2020)
Modificação de uma máscara de poliuretano a partir sua imersão em uma solução de hexadeciltrimetoxisilano hidrolisado e nanopartículas de SiO ₂	85°	132°	Ray <i>et al.</i> (2020)
Formação de um filtro a partir da deposição por <i>spray</i> de nanotubos de carbono em um filme de nitrocelulose entre duas camadas de não tecido (de fiação contínua) de PP	124,6°	131,7°	Lee <i>et al.</i> (2021)
Deposição por <i>spray</i> de nanotubos de carbono sobre a camada externa de uma máscara cirúrgica	113,6°	156,2°	Soni <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Autor (2021)

A partir destes estudos, pode-se verificar que a adição de um nanomaterial às máscaras aumentou, no mínimo, 30° ao ângulo de contato, com exceção do artigo de Lee *et al.*, (2021), que foi de apenas 7°. Este fato se justifica ao método de adição dos nanotubos de carbono selecionado, que fica entre duas camadas de não tecido, ou seja, não está em contato direto com a superfície. Fato que se confirma com a pesquisa de Soni *et al.* (2021), que mostra que com os nanotubos de carbono aplicados diretamente na camada externa da máscara, o aumento do ângulo de contato é de quase 43°, o que ocasionou em uma máscara superhidrofóbica.

A superhidrofobicidade obtida pode ser entendida pela presença de um composto de baixa energia livre somado à obtenção de uma nanoestrutura superficial. A combinação destes dois componentes, o químico e o morfológico, é a condição para obter superfícies superhidrofóbicas auto-limpantes (WEIBEL; RAMANATHAN, 2018). Para tanto, o objetivo principal destes tratamentos, é aumentar a rugosidade da superfície do substrato têxtil (NGUYEN-TRI *et al.*, 2019). A Figura 14 apresenta a diferença de rugosidade da fibra de polipropileno da máscara cirúrgica, da pesquisa de Soni *et al.* (2021), antes do acabamento (Figura 14a), e depois da aplicação dos nanotubos de carbono (14b), por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Figura 14- MEV da fibra de polipropileno a) sem tratamento e b) com tratamento com nanotubos de carbono



Fonte: Soni *et al.* (2021)

Para vencer o segundo desafio, que visa a reutilização das máscaras, diversas aplicações foram encontradas com objetivo de promover um efeito esterilizante a partir de algum estímulo externo (Quadro 5), para que estas sejam facilmente descontaminadas e reutilizadas. Sabe-se que o SARS-CoV pode ser desativado a 56 °C em 15 minutos (HUANG *et al.* 2020), por tanto a maioria dos estudos busca aplicação térmica, que não danificaria a fibra de PP, que possui ponto de fusão de aproximadamente 140 °C.

Quadro 5- Aplicações da nanotecnologia para esterilização das máscaras

Ação	Técnica	Componente	Autor
Fototérmica	Indução a laser	Grafeno	Zhong <i>et al.</i> (2020)
Fototérmica	Extrusão ultrassônica	Nanofolha de grafeno	Lin <i>et al.</i> (2020)
Fototérmica	Indução a laser	Grafeno	Huang <i>et al.</i> (2020)
Eletrotérmica	Deposição por solução e evaporação do solvente	Grafeno	Shan <i>et al.</i> (2020)
Fototérmica e fotocatalítica	Deposição por <i>spray</i>	Goma laca e nanopartículas de cobre	Kumar <i>et al.</i> (2021)
Fototérmica	Deposição por <i>spray</i>	Nanotubos de carbono	Soni <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Autor (2021)

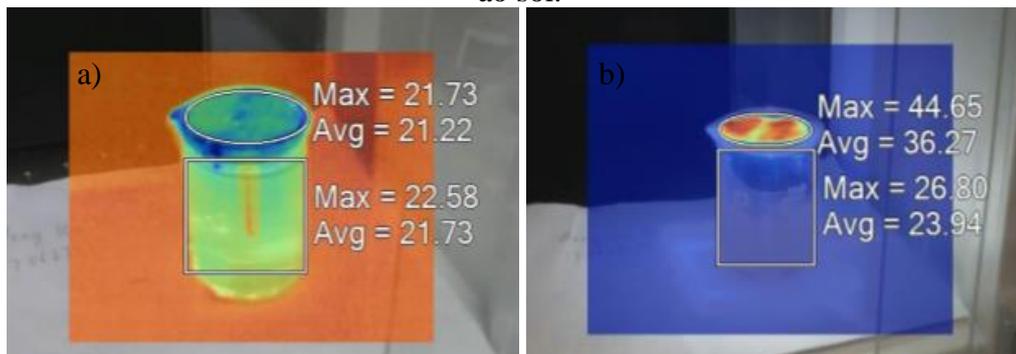
A superfície resultante da atividade fototérmica faz com que, sob iluminação solar, a temperatura das máscaras aumente para no mínimo 60 °C, gerando um alto nível de radicais livres que rompem a membrana das partículas semelhantes a vírus nanométricos (aproximadamente 100 nm) (KUMAR *et al.*, 2021).

Shan *et al.* (2021) propuseram um método que se difere ao fototérmico, e que não depende do clima exterior para esterilização de uma máscara. O método eletrotérmico consiste em uma fita de tecido flexível e condutora aderida à superfície da camada de não tecidos central da máscara (por fiação a sopro), como função de eletrodo interdigital. A seguir, impregnada com uma camada de solução de grafeno, com função de condutividade elétrica e térmica. Nestas condições, operando sob uma baixa tensão de 3 V, o filtro pode gerar rapidamente grandes quantidades de calor para atingir uma alta temperatura acima de 80 °C em minutos. Além disso, apresentou propriedades fototérmicas, podendo chegar à 71,5 °C durante várias horas de exposição.

O meio ambiente também pode se beneficiar com a reciclagem de máscaras, como a de Zhong *et al.* (2020). Isto pois a máscara revestida de grafeno estudada, em um período pós pandemia, poderia ser reciclada para o uso em dessalinização movida a energia solar, com desempenho excelente de rejeição de sal para uso a longo prazo, como demonstrado na Figura

15. Devido ao desempenho fototérmico e às estruturas porosas, as máscaras podem ser utilizadas como geradores de vapor solar. Testes afirmaram que após 30 min de iluminação solar, a temperatura da máscara foi estabilizada em 36 °C, enquanto a temperatura bruta da água aumentou de 21 para 24 °C. Portanto, pode ser indicado que a máscara realizou uma dessalinização solar interfacial sem aquecer significativamente a água.

Figura 15- Processo de dessalinização solar a) antes da exposição ao sol e b) após a exposição ao sol.



Fonte: Zhong *et al.* (2020)

De maneira geral, além do estudo da hidrofobicidade, reutilização e reciclagem, a nanotecnologia aderiu diversas outras aplicações. Ahmed *et al.* (2021) desenvolveram um respirador semelhante a N95, baseado em multicamadas eletrofiadas de ácido polilático e acetato de celulose que incorporam nanopartículas de CuO e óxido de grafeno (OG) com a ajuda de um ultrassom de alta potência. Enquanto a rede polimérica pode parar as partículas virais dispersas no ar, as nanopartículas de CuO e OG inibiriam ainda mais a transmissão bacteriana e viral ao inativar as partículas virais presas na própria membrana.

Zhang *et al.* (2021) desenvolveram uma máscara facial de adsorção eletrostática autoalimentada baseada em um nanogerador triboelétrico deslizante, no filtro do não tecido por fiação a sopro de PP. Este nanogerador transforma energia mecânica em elétrica, e neste caso é conduzido pela respiração. O filtro processado tem carga bipolar e tem uma eficiência de filtração além de 95% para o material particulado variando de 0,3 a 10,0 μm . Além disso, o estudo demonstrou que o aquecimento a seco a 80 °C é um método de descontaminação eficaz. Mesmo após dez ciclos de simulação do processo de uso de 4 horas e tal procedimento de aquecimento, a eficiência de filtração das máscaras cirúrgicas descartáveis ainda é superior a 95%, demonstrando um esquema simples e eficaz para prolongar a vida útil das máscaras cirúrgicas descartáveis sem alterar sua estrutura atual.

Wang *et al.* (2021) estudaram a eficiência de filtração, a partir de aerossóis de coronavírus, de máscaras compostas por nanofibras de fluoreto de polivinilideno, com diferentes durações de eletrofiação (20 e 30 min), dispostas em uma camada de não tecido de PP. Além disso, para vias de comparação, realizaram o mesmo teste de eficiência para bandana facial, máscara de tecido de algodão e uma máscara cirúrgica. Os filtros eletrofiados tiveram uma eficiência de filtração de 99,9% e 99,1% para 30 e 20 min respectivamente, enquanto as máscaras faciais comerciais mostraram uma eficiência de filtração média de 44,9% para a bandana facial, 73,3% para a máscara de algodão e 98,2% para a máscara cirúrgica.

Máscaras com aplicações de nanopartículas de Ag demonstram tendência comercial durante o período pandêmico, devido a sua inibição efetiva do crescimento de bactérias, fungos e vírus (HIRAGOND *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2016). Sua incorporação em tecidos de algodão mostrou efeito *in vitro* eficaz na inibição do vírus SARS-CoV-2 (TREMILIOSI *et al.*, 2020). Porém, de acordo com Blevens *et al.* (2021), nem todas as máscaras comercializadas com este intuito são de fato eficazes, uma vez que não se tem um valor mínimo preconizado da concentração de prata para que se tenha eficácia de 99,9% contra o vírus. Isso demonstra que as certificações ou patentes ativas não são suficientes para determinar a credibilidade, e regulamentos mais rígidos por agências federais sobre testes de produtos para fabricantes são necessários para garantir a eficácia do produto anunciado.

Outra tendência comercial são as máscaras à base de grafeno, que de acordo com Ramaiah *et al.* (2021) vêm demonstrando potência no combate à vírus e bactérias. Porém, a Health Canada (2021) aconselhou aos canadenses a não usarem máscaras faciais que contenham grafeno, como precaução, após uma avaliação preliminar identificar que a inalação de partículas de grafeno pode causar efeitos pulmonares precoces.

5 CONCLUSÃO

A partir desta revisão de literatura, pode-se observar um expressivo aumento do número de pesquisas sobre a aplicação da nanotecnologia em máscaras de proteção nos anos de 2020 e 2021, como resultado da pandemia de COVID-19. Constatou-se que a adição de várias camadas de filtro ou de tecido aumenta a eficiência de filtração de uma máscara, porém, diminui a sua respirabilidade. Por tanto, o uso de nanofibras, produzidas principalmente pela técnica de eletrofiação, foi destaque no desenvolvimento de máscaras, uma vez que oferecem uma alta eficiência e baixa resistência respiratória.

Devido à escassez de máscaras e o alto nível de produção para sanar essas deficiências, a busca por máscaras reutilizáveis se fez muito presente, e métodos de autoesterelização de máscaras, como atividades fotoativas e fotoelétricas (adquiridas com o uso de nanopartículas), têm se mostrando uma alternativa promissora. Nanomateriais como o grafeno foram destaque nesta pesquisa devido suas aplicações hidrofóbicas, fototérmicas, antibactericidas e antivirais, porém mais estudos devem ser realizados quanto à sua toxicidade na inalação humana.

Portanto, conclui-se que o campo da nanotecnologia e da têxtil caminham juntos na proteção da população contra diversos agentes patogênicos, especialmente durante a pandemia do COVID-19. Os estudos envolvendo máscaras faciais impulsionados pela pandemia podem ser, em um curto período, transpostos para outras aplicações, contribuindo com a expansão dos têxteis técnicos.

5.1 SUGESTÕES FUTURAS

A partir do presente trabalho, pode-se perceber que ainda há perguntas a serem respondidas quanto as máscaras faciais:

1. Qual a durabilidade dos nanomateriais nas máscaras?
2. Quais são os impactos ambientais da nanotecnologia não fixada ao têxtil? E do descarte das máscaras?
3. Como reciclar as máscaras comerciais em um período pós-pandemia?

Portanto, são sugestões de perguntas de pesquisas relevantes, uma vez que o mundo após a pandemia deve ser discutido e pensado, considerando a atual obrigatoriedade da máscara e o elevado descarte da mesma.

REFERÊNCIAS

ABINT – Associação brasileira das indústrias de não tecidos e tecidos técnicos. **Como são fabricados os não tecidos**. Disponível: <https://www.abint.org.br/naotecidos/como-sao-fabricados>. Acesso em: 18 out. 2021.

AHMED, M. K.; AFIFI, M.; USKOKOVIĆ, V. Protecting healthcare workers during COVID-19 pandemic with nanotechnology: a protocol for a new device from egypt. **Journal of Infection and Public Health**, v. 13, n. 9, p. 1243-1246, set. 2020.

AKALIN, M; USTA, I; KOCAK, D; OZEN, M. Investigation of the filtration properties of medical masks. In: ANAND, S. C.; KENNEDY, J. F.; MIRAFTAB, M.; RAJENDRAN, S. **Medical and healthcare textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2010. p. 1-555.

AKDUMAN, C. Cellulose acetate and polyvinylidene fluoride nanofiber mats for N95 respirators. **Journal of Industrial Textiles**, v. 50, n. 8, p. 1239-1261, jun. 2019.

ALI, M. A.; SHAVANDI, A. **Performance Testing of Textiles**. Washington: Woodhead Publishing Series in Textiles, 2016. 246 p.

ARVIN. **Leadership in Personal Protective Equipment**. Disponível em: <https://www.arvind-amd.com/mask/>. Acesso em: 03 ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1005: Máscaras cirúrgicas - Guia de requisitos básicos para métodos de ensaio, fabricação e uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1052: Máscara de uso odontológico-hospitalar - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12543: Equipamento de proteção respiratória – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13698: Equipamento de proteção respiratória – Peça semifacial filtrante para partículas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16972: Equipamento de proteção respiratória – Termos, definições, símbolos, gráficos e unidades de medida**. Rio de Janeiro: ABNT: 2015.

BELINO, N.; FANGUEIRO, R.; RANA, S.; GLAMPEDAKI, P.; PRINIOTAKIS, G. **Medical and Healthcare Textiles**. In: PAUL, R. High Performance Technical Textiles. Covilhã: John Wiley & Sons Ltd, 2019. p. 1-503.

BELL, B. Covid-19: uma breve história das máscaras faciais, da Peste Negra à pandemia. **BBC News**, 14 mar. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-56346221>. Acesso em: 22 jul. 2021.

BRERETON, P.; KITCHENHAM, B. A.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KHALIL, M. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of systems and software**, v. 80, n. 4, p. 571-583, abr. 2007.

BLEVENS, M. S.; PASTRANA, H. F.; MAZZOTTA, Hannah C.; TSAI, C. S. Cloth Face Masks Containing Silver: evaluating the status. **ACS Chemical Health & Safety**, v. 28, n. 3, p. 171-182, abr. 2021.

BORKOW, G.; ZHOU, S. S.; PAGE, T.; GABBAY, J. A Novel Anti-Influenza Copper Oxide Containing Respiratory Face Mask. **Plos One**, v. 5, n. 6, p. 11295, jun. 2010.

CDC - Center for Disease Control and Prevention. **Implementing filtering facepiece respirator (FFR) reuse, including reuse after decontamination, when there are known shortages of n95 respirators**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/decontamination-reuse-respirators.html>. Acesso em: 04 ago. 2021.

CEBM - The Centre for Evidence-Based Medicine. **Extended use or re-use of single-use surgical masks and filtering facepiece respirators: A rapid evidence review**. 2020. Disponível em: <https://www.cebm.net/covid-19/extended-use-or-re-use-of-single-use-surgical-masks-and-filtering-facepiece-respirators-a-rapid-evidence-review/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

CHOI, Y.; LEE, S.; YOO, S. H. Characteristics and application of nanomaterials on sportswear fabric. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 12, n. 17, p. 6704-6709, 2017.

CHUA, M. H.; CHENG, W.; GOH, S. S.; KONG, J.; LI, B.; LIM, J. Y. C.; MAO, L.; WANG, S.; XUE, K.; YANG, L. Face Masks in the New COVID-19 Normal: materials, testing, and perspectives. **Research**, p. 1-40, ago. 2020.

CONTI, A. A. Protective face masks through centuries, from XVII century plague doctors to current health care professionals managing the COVID-19 pandemic. **ACTA Biomedica**, v. 91, n. 4, p. 1-3, jul. 2020.

DAHMAN, Y. **Nanotechnology and Functional Materials for Engineers**. Toronto: Elsevier, 2017. 268 p.

DREWNICK, F.; PIKMANN, J.; FACHINGER, F.; MOORMANN, L.; SPRANG, F.; BORRMANN, S. Aerosol filtration efficiency of household materials for homemade face masks: influence of material properties, particle size, particle electrical charge, face velocity, and leaks. **Aerosol Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 63-79, 8 out. 2020.

EL-ATAB, N.; QAISER, N.; BADGHAISH, H.; SHAIKH, S. F.; HUSSAIN, M. M. Flexible Nanoporous Template for the Design and Development of Reusable Anti-COVID-19 Hydrophobic Face Masks. **ACS Nano**, v. 14, n. 6, p. 7659-7665, 20 maio 2020.

ESSA, W. K.; YASIN, S. A.; SAEED, I. A.; ALI, G. A. M. Nanofiber-Based Face Masks and Respirators as COVID-19 Protection: A Review. **Membranes**, v. 11, n. 4, p. 1-14, mar. 2021.

FERREIRA, I. L. S.; MAURÍCIO, L. P. A.; AQUINO, M. S.; OLIVEIRA, F. R. Aplicação de materiais têxteis na área da saúde. In: *Contexmod*, 2., 2014, Natal. **Anais [...]**. Apucarana: Abtt, 2014. p. 1-15.

FRIPP, J. M. C.; AGOSTINI, I. B.; RODRIGUES, G. D.; MIRANDA, I. O.; DUARTE, L. S. N. Experiência extensionista no combate à pandemia por COVID-19: máscaras cuidativas - manto protetor da vida. **Expressa Extensão**, v. 26, n. 1, p. 240-258, dez. 2020.

GALZO, W.; ROCHA, L. Máscaras N95: entenda o que é, como usar, higienizar e fazer rodízio entre elas. **CNN Brasil**, 7 jun. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/2021/04/09/mascaras-n95-pff2-o-que-e-como-usar-higienizar-e-fazer-rodizio-entre-elas>. Acesso em: 01 ago. 2021.

HEALTH CANADA. **Face masks manufactured by Shandong Shengquan New Materials Co. Ltd. labelled to contain biomass graphene**. Disponível em: <https://healthycanadians.gc.ca/recall-alert-rappel-avis/hc-sc/2021/75309a-eng.php>. Acesso em: 12 set. 2021.

HIRAGOND, C. B.; KSHIRSAGAR, A. S.; DHAPTE, V. V.; KHANNA, T.; JOSHI, P.; MORE, P. V. Enhanced anti-microbial response of commercial face mask using colloidal silver nanoparticles. **Vacuum**, v. 156, p. 475-482, out. 2018.

HUANG, L.; XU, S.; WANG, Z.; XUE, K.; SU, J.; SONG, Y.; CHEN, S.; ZHU, C.; TANG, B. Z.; YE, R. Self-Reporting and Photothermally Enhanced Rapid Bacterial Killing on a Laser-Induced Graphene Mask. **ACS Nano**, v. 14, n. 9, p. 12045-12053, ago. 2020.

IESLA. **Importância das normas ABNT**. Disponível em: <https://iesla.com.br/importancia-das-normas-da-abnt/>. Acesso em: 21 out. 2021.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO/TS 80004-1:2015: Nanotechnologies — Vocabulary — Part 1: Core terms**. Switzerland: Iso Copyright Office, 2015. 3 p.

JOSHI, M.; KHANNA, R.; SHEKHAR, R.; JHA, K. Chitosan nanocoating on cotton textile substrate using layer-by-layer self-assembly technique. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 119, n. 5, p. 2793-2799, set. 2010.

KARIM, N.; AFROJ, S.; LLOYD, K.; OATEN, L. C.; ANDREEVA, D. V.; CARR, C.; FARMERY, A. D.; KIM, I.; NOVOSELOV, K. S. Sustainable Personal Protective Clothing for Healthcare Applications: a review. **ACS Nano**, v. 14, n. 10, p. 12313-12340, ago. 2020.

KARMACHARYA, M.; KUMAR, S.; GULENKO, O.; CHO, Y. Advances in Facemasks during the COVID-19 Pandemic Era. **ACS Applied Biomaterials**, v. 4, n. 5, p. 3891-3908, 14 jan. 2021.

KENNEDY, J. F.; KNILL, C. J. Textile-based medical devices: an overview. In: ANAND, S. C.; KENNEDY, J. F.; MIRAFTAB, M.; RAJENDRAN, S. **Medical and healthcare textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2010. p. 1-555.

KIRON, M. I. **Application of Nanotechnology in Textile Industry**. 2013. Disponível em: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/7135/application-of-nanotechnology-in-textile-industry>. Acesso em: 04 ago. 2021.

KONDA, A.; PRAKASH, A.; MOSS, G. A.; SCHMOLDT, M.; GRANT, G. D.; GUHA, S. Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks. **ACS Nano**, v. 14, n. 5, p. 6339-6347, 24 abr. 2020.

KUMAR, S.; KARMACHARYA, M.; JOSHI, S. R.; GULENKO, O.; PARK, J.; KIM, G.; CHO, Y. Photoactive Antiviral Face Mask with Self-Sterilization and Reusability. **Nano Letters**, v. 21, n. 1, p. 337-343, nov. 2020.

LEE, B.; BEHLER, K.; KURTOGLU, M. E.; WYNOSKY-DOLFI, M. A.; REST, R. F.; GOGOTSI, Y. Titanium dioxide-coated nanofibers for advanced filters. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 12, n. 7, p. 2511-2519, dez. 2009.

LEE, S.; NAM, J.; HAN, J.; ZHANG, Q.; KAUPPINEN, E. I.; JEON, I. Carbon Nanotube Mask Filters and Their Hydrophobic Barrier and Hyperthermic Antiviral Effects on SARS-CoV-2. **ACS Applied Nano Materials**, v. 4, n. 8, p. 8135-8144, jul. 2021.

LI, X.; GONG, Y. Design of Polymeric Nanofiber Gauze Mask to Prevent Inhaling PM2.5 Particles from Haze Pollution. **Journal of Chemistry**, v. 2015, p. 1-5, ago. 2015.

LI, Y.; LEUNG, P.; YAO, L.; SONG, Q.W.; NEWTON, E. Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. **Journal of Hospital Infection**, v. 62, n. 1, p. 58-63, jan. 2006.

LIN, Z.; WANG, Z.; ZHANG, X.; DIAO, D. Superhydrophobic, photo-sterilize, and reusable mask based on graphene nanosheet-embedded carbon (GNEC) film. **Nano Research**, v. 14, n. 4, p. 1110-1115, nov. 2020.

LISTER, T.; SHUKLA, S.; BOBILE, F. Pandemia de coronavírus desencadeia disputa global por máscaras de proteção. **CNN Brasil**, 05 mar. 2020. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/pandemia-de-coronavirus-desencadeia-disputa-global-por-mascaras-de-protecao/>. Acesso em: 07 set. 2021.

LIU, G.; NIE, J.; HAN, C.; JIANG, T.; YANG, Z.; PANG, Y.; XU, L.; GUO, T.; BU, T.; ZHANG, C. Self-Powered Electrostatic Adsorption Face Mask Based on a Triboelectric Nanogenerator. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 10, n. 8, p. 7126-7133, fev. 2018.

MACINTYRE, C. R.; CHUGHTAI, A. A. Facemasks for the prevention of infection in healthcare and community settings. **BMJ**, v. 350, p. 1-12, abr. 2015.

MATUSCHEK, C.; MOLL, F.; FANGERAU, H.; FISCHER, J. C.; ZÄNKER, K.; VAN GRIENSVEN, M.; SCHNEIDER, M.; KINDGEN-MILLES, D.; KNOEFEL, W. T.;

LICHTENBERG, A. The history and value of face masks. **European Journal of Medical Research**, v. 25, n. 1, p. 1-6, jun. 2020.

MISHRA, R.; MILITKY, J. **Nanotechnology in Textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. 414 p.

MITCHELL, A.; SPENCER, M.; EDMISTON, C. Role of healthcare apparel and other healthcare textiles in the transmission of pathogens: a review of the literature. **Journal of Hospital Infection**, v. 90, n. 4, p. 285-292, ago. 2015.

MONTAZER, M.; HARIFI, T. **Nanofinishing of textile materials**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2018. 352 p.

MORAIS, F. G.; SAKANO, V. K.; LIMA, L. N.; FRANCO, M. A.; REIS, D. C.; ZANCHETTA, L. M.; JORGE, F.; LANDULFO, E.; CATALANI, L. H.; BARBOSA, H. M. J. Filtration efficiency of a large set of COVID-19 face masks commonly used in Brazil. **Aerosol Science and Technology**, v. 55, n. 9, p. 1028-1041, abr. 2021.

NGUYEN-TRI, P.; TRAN, H. N.; PLAMONDON, C. O.; TUDURI, L.; VO, D. N.; NANDA, S.; MISHRA, A.; CHAO, H.; BAJPAI, A. K. Recent progress in the preparation, properties and applications of superhydrophobic nano-based coatings and surfaces: a review. **Progress in Organic Coatings**, v. 132, p. 235-256, jul. 2019.

NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE. **Benefits and Applications**. Disponível em: <https://www.nano.gov/you/nanotechnology-benefits>. Acesso em: 11 jul. 2021.

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **The face mask global value chain in the COVID-19 outbreak: Evidence and policy lessons**. 2020. Disponível em: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/the-face-mask-global-value-chain-in-the-covid-19-outbreak-evidence-and-policy-lessons-a4df866d/>. Acesso em: 07 set. 2021.

OLIVEIRA, D. F. **Obtenção e caracterização de mantas fibrosas de poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF) com poli(o-metoxianilina) (POMA) pela técnica de "Solution Blow Spinning"**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2016.

OLIVEIRA, A. D.; BEATRICE, C. A. G. Polymer Nanocomposites with Different Types of Nanofiller. **Nanocomposites - Recent Evolutions**, p. 103-128, jan. 2019.

OLIVEIRA, I. H.; VILLALON, F. R.; CAMPOS, K. J. P. Riscos ocupacionais e toxicidade associada a nanotubos de carbono: uma revisão da literatura. **ABHO**, v. 39, p. 18-29, 2015.

OMS - Organização Mundial da Saúde. **Uso de máscara no contexto da COVID-19**. 2020. Disponível em: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/53101/OPASWBRAPHECOVID-1920162_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 jul. 2021.

PALMIERI, V.; MAIO, F.; SPIRITO, M.; PAPI, M. Face masks and nanotechnology: keep the blue side up. **Nano Today**, v. 37, n. 101077, p. 1-6, abr. 2021.

PAN, K.; GOEL, A.; AKIN, L. R.; PATEL, S. R. Through Plagues and Pandemics: The Evolution of Medical Face Masks. **Rhode Island Medical Journal**, v. 103, n. 10, p. 72-75, dez. 2020.

PARVIN, F.; ISLAM, S.; URMY, Z.; AHMED, S. A STUDY ON THE TEXTILE MATERIALS APPLIED IN HUMAN MEDICAL TREATMENT. **European Journal of Physiotherapy and Rehabilitation Studies**, Rajshahi, v. 1, n. 1, p. 56-80, 2020.

PATRA, J. K.; GOUDA, S. Application of nanotechnology in textile engineering: An overview. **Journal of Engineering and Technology Research**, p. 104-11, maio 2013.

PRAGADHEESWARI, R.; ARUNKUMAR, K. V.; RAJAKUMAR, R.; SANGEETHA, K. Nano Membrane Fibrous on Lyocell Non-Woven Fabric for Bacterial Filtration Efficiency in Surgical Face Mask. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 2, n. 5, p. 598-599, fev. 2014.

RAJENDRAN, S.; ANAND, S.C.; RIGBY, A. J. Textiles for healthcare and medical applications. In: HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash C. **Handbook of technical textiles**. 2. ed. Bolton: Woodhead Publishing, 2016. p. 1-442.

RAMAIAH, G. B.; TEGEGNE, A.; MELESE, B. Developments in Nano-materials and Analysing its role in Fighting COVID-19. **Materials Today: Proceedings**, p. 1-7, mai. 2021.

RAY, S. S.; PARK, Y.; PARK, H.; NAM, S.; KIM, I.; KWON, Y. Surface innovation to enhance anti-droplet and hydrophobic behavior of breathable compressed-polyurethane masks. **Environmental Technology & Innovation**, v. 20, p. 101093, nov. 2020.

RIBEIRO, Á. P. R. ECMO A Terapia Que Salva Vidas: revisão sistemática. **Revista de Psicologia**, v. 15, n. 54, p. 341-356, fev. 2021.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 20, n. 2, p. 5-6, jun. 2007.

RUSSELL, S. J. (ed.). **Handbook of nonwovens**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2007. 545 p.

SAGES - Society Of American Gastrointestinal And Endoscopic Surgeons. **N95 MASK RE-USE STRATEGIES**. Disponível em: <https://www.sages.org/n-95-re-use-instructions/>. Acesso em: 04 ago. 2021.

SALEEM, H.; ZAIDI, S. Sustainable Use of Nanomaterials in Textiles and Their Environmental Impact. **Materials**, v. 13, n. 22, p. 5134, nov. 2020.

SCHULZ, P. A. B. O que é Nanociência e para que Serve a Nanotecnologia? **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 58-62, mai. 2005.

SHAHIDI, S.; MOAZZENCHI, B. Carbon nanotube and its applications in textile industry – A review. **The Journal of the Textile Institute**, v. 109, n. 12, p. 1653-1666, fev. 2018.

SHAN, X.; ZHANG, H.; LIU, C.; YU, L.; DI, Y.; ZHANG, X.; DONG, L.; GAN, Z. Reusable Self-Sterilization Masks Based on Electrothermal Graphene Filters. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 12, n. 50, p. 56579-56586, dez. 2020.

SICKBERT-BENNETT, E. E.; SAMET, J. M.; PRINCE, S. E. Fitted Filtration Efficiency of Double Masking During the COVID-19 Pandemic. **Jama Internal Medicine**, p. 1-2. abr. 2021.

SILVA, T. H.; OLIVEIRA, J. E.; MEDEIROS, E. S. Obtenção de micro e nanofibras de PVC pela técnica de Fiação por Sopros em Solução. **Polímeros**, v. 25, n. 2, p. 229-235, abr. 2015.

SKARIA, S. D.; SMALDONE, G. C. Respiratory Source Control Using Surgical Masks with Nanofiber Media. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 58, n. 6, p. 771-781, abr. 2014.

SOEIRO, R. E.; BEDRIKOW, R.; RAMALHO, B. D. S.; NIEDERAUER, A. J. S.; SOUZA, C. V.; PREVIATO, C.; MARTINS, D. B.; DIAS, T. M.; FREITAS, A. R. R.; DIMARZIO, G. Atenção Primária à Saúde e a pandemia de COVID-19: reflexão para a prática. **Interamerican Journal of Medicine and Health**, v. 3, p. 1-6, abr. 2020.

SONI, R.; JOSHI, S. R.; KARMACHARYA, M.; MIN, H.; KIM, S.; KUMAR, S.; KIM, G.; CHO, Y.; LEE, C. Y. Superhydrophobic and Self-Sterilizing Surgical Masks Spray-Coated with Carbon Nanotubes. **ACS Applied Nano Materials**, v. 4, n. 8, p. 8491-8499, ago. 2021.

SOUZA, S. O. L. **Desenvolvimento e caracterização de nanofibras obtidas pela técnica de eletrofiação coaxial visando a liberação de bevacizumabe para o tratamento de degeneração macular relacionada a idade**. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SOUZA, D. A. R. **Revestimento de substrato têxtil com nanoestruturas de zno para aplicação antimicrobiana**. 2015. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

TAN, N. P. B.; PACLIJAN, S. S.; ALI, H. N. M.; HALLAZGO, C. M. J. S.; LOPEZ, C. J. F.; EBORA, Y. C. Solution Blow Spinning (SBS) Nanofibers for Composite Air Filter Masks. **ACS Applied Nano Materials**, v. 2, n. 4, p. 2475-2483, mar. 2019.

TONIATO, T. V. **Eletrofiação de nanofibras poliméricas de poliácido láctico com nanopartículas de dióxido de titânio incorporadas**. 2015. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2015.

THENMOZHI, S.; DHARMARAJ, N.; KADIRVELU, K.; KIM, Hak Yong. Electrospun nanofibers: new generation materials for advanced applications. **Materials Science and Engineering**, v. 217, p. 36-48, mar. 2017.

TREMILIOSI, G. C.; SIMÕES, L. G. P.; MINOZZI, D. T.; SANTOS, R. I.; VILELA, D. C.; DURIGON, E. L.; MACHADO, R. R. G.; MEDINA, D. S.; RIBEIRO, L. K.; ROSA, I. L. V. Ag nanoparticles-based antimicrobial polycotton fabrics to prevent the transmission and spread of SARS-CoV-2. **BIORXIV**, p. 1-19, jun. 2020.

UL-ISLAM, S.; BUTOLA, B. S. **Advances in Functional and Protective Textiles**. Rarauji: The Textile Institute Book Series, 2020. 660 p.

ULLAH, S.; ULLAH, A.; LEE, J.; JEONG, Y.; HASHMI, M.; ZHU, C.; JOO, K. I.; CHA, H. J.; KIM, I. S. Reusability Comparison of Melt-Blown vs Nanofiber Face Mask Filters for Use in the Coronavirus Pandemic. **ACS Applied Nano Materials**, v. 3, n. 7, p. 7231-7241, jun. 2020.

VALADARES, M. Quanto tempo o coronavírus sobrevive nas superfícies? Estudo aponta que plástico e aço ampliam a sobrevida. **Portal G1**, 19 mar. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/bemestar/coronavirus/noticia/2020/03/19/quanto-tempo-o-coronavirus-sobrevive-nas-superficies-estudo-aponta-que-plastico-e-aco-ampliam-a-sobrevida.ghtml>. Acesso em: 01 ago. 2021.

VALENCIA, A. M. Coronavírus: por que os japoneses já usavam máscaras muito antes da covid-19. **BBC News**, 17 jul. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-53452695>. Acesso em: 02 set. 2021.

WANG, H.; SHEN, H.; ZHOU, Z.; ZHANG, M.; HAN, M.; DURKIN, D. P.; SHUAI, D.; SHEN, Y. Development of Electrospun Nanofibrous Filters for Controlling Coronavirus Aerosols. **MEDRXIV**, p. 1-17, jan. 2021.

WEIBEL, D. E.; RAMANATHAN, R. Processo para obtenção de superfícies superhidrofóbicas utilizando nanopartículas funcionalizadas. BR n. 102014005348-4 A2. Depósito: 07 mar. 2014. Concessão: 10 abr. 2018.

YANG, X. X.; LI, C. M.; HUANG, C. Z. Curcumin modified silver nanoparticles for highly efficient inhibition of respiratory syncytial virus infection. **Nanoscale**, v. 8, n. 5, p. 3040-3048, jan. 2016.

YANG, A.; CAI, L.; ZHANG, R.; WANG, J.; HSU, P.; WANG, H.; ZHOU, G.; XU, J.; CUI, Y. Thermal Management in Nanofiber-Based Face Mask. **Nano Letters**, v. 17, n. 6, p. 3506-3510, mai. 2017.

YETISEN, A. K.; QU, H.; MANBACHI, A.; BUTT, H.; DOKMECI, M. R.; HINESTROZA, J. P.; SKOROBOGATIY, M.; KHADEMHOSEINI, A.; YUN, S. H. Nanotechnology in Textiles. **ACS Nano**, v. 10, n. 3, p. 3042-3068, fev. 2016.

ZADOROSNY, L. **Produção e caracterização de micro e nanofibras de poli (fluoreto de vinilideno) – PVDF obtidos pela técnica de Fiação por Sopro em Solução**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2013.

ZHANG, R.; XU, Q.; BAI, S.; HAI, J.; CHENG, L.; XU, G.; QIN, Y. Enhancing the filtration efficiency and wearing time of disposable surgical masks using TENG technology. **Nano Energy**, v. 79, p. 105434, jan. 2021.

ZHONG, W. **An Introduction to Health Care and Medical Textiles**. Lancaster: Stech Publications, 2013. 285 p.

ZHONG, H.; ZHU, Z.; LIN, J.; CHEUNG, C. F.; LU, V. L.; YAN, F.; CHAN, C.; LI, G. Reusable and Recyclable Graphene Masks with Outstanding Superhydrophobic and Photothermal Performances. **ACS Nano**, v. 14, n. 5, p. 6213-6221, 24 abr. 2020.