



FURG

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

**EPIs Nanotecnológicos: Revisão da Literatura e Análise Bibliométrica**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**MELIZA DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA**

Rio Grande, 2022.

**MELIZA DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA**

**EPIs Nanotecnológicos: Revisão da Literatura e Análise Bibliométrica**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

**ORIENTADORA: Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristiana Lima Dora**

Rio Grande  
2022

## **BANCA EXAMINADORA**

### **MELIZA DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

### **EPIs Nanotecnológicos: Revisão da Literatura e Análise Bibliométrica**

#### **Banca Examinadora**

Profa. Dra. Mariana Appel Hort – Universidade Federal do Rio Grande- FURG

Profa. Dra. Betina Zanetti Ramos - Nanovetores

Prof. Dr. Gustavo Richter Vaz – Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Profa. Dra. Cristiana Lima Dora

## Ficha Catalográfica

O48e Oliveira, Meliza da Conceição.

EPIs nanotecnológicos: revisão da literatura e análise bibliométrica / Meliza da Conceição Oliveira. – 2022.  
89 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –FURG, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Rio Grande/RS, 2022.  
Orientador: Dr. Cristiana Lima Dora.

1. Nanotecnologia 2. COVID-19 3. EPI 4. Máscara facial

I. Dora, Cristiana Lima II. Título.

CDU 621.38

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha avó, Elça Miranda (*in memorian*), que nunca deixou de acreditar na fé, sendo um exemplo de força, de garra, dedicação, carinho e inspiração como pessoa.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e Maria Elizabeth por todas as graças obtidas, por iluminarem meu caminho e me abençoarem durante esse ciclo.

Agradeço aos **meus pais, Ana Lia da Conceição e Edison Oliveira**, pela constante dedicação e apoio incondicional em todos os momentos e nas escolhas que realizei ao longo da vida, dividiram esse sonho comigo e não mediram esforços para que se tornasse realidade. Agradeço em especial, ao **meu irmão, Leandro Oliveira**, também pelo constante incentivo, por ter me apoiado em todas as decisões e por todo amor que me dedicou, sendo meu exemplo de vida e de vida acadêmica. Vocês são meus alicerces, minha base.

Agradeço ao meu namorado, **Luís Enrique Icart**, por toda compreensão e cumplicidade, na motivação vinda sempre nas palavras de caminho, amor e incentivo, me motivando a cada dia a buscar sempre mais.

A todos **meus amigos**, obrigado pela amizade, pelos conselhos, companheirismo e pelos incentivos constantes. Em especial a minha amiga, **Karline Rodrigues**, por todo o apoio e todos os conselhos ao longo do mestrado, pelas boas conversas tomando chimarrão, e pela disposição em me ajudar.

À Universidade Federal do Rio Grande, pela oportunidade de estudo, e a todos professores, que compartilharam ensinamentos e histórias para formação acadêmica de todos os alunos.

À **Profa. Dra. Cristiana Lima Dora**, por ter me recebido de forma tão carinhosa e aceitado me orientar, obrigada pela dedicação, pelos conselhos, e por todos os ensinamentos ao longo desses dois anos.

À **Virginia Yurgel**, por toda paciência, ensinamentos e apoio, obrigada! Aos meus **colegas de laboratório (Laboratório de Nanotecnologia)**, obrigada pela recepção, pela paciência, pelo apoio e conselhos, e pelas boas conversas via online, gratidão!

Agradeço a todos que estiveram comigo ao longo dessa caminhada, pois de alguma forma contribuíram para eu me tornar a pessoa que sou hoje. Agradeço, pela paciência, compreensão, críticas, amor e carinho dedicados a mim.

À todos, Muito Obrigada!

## **RESUMO:**

No contexto da pandemia do COVID-19, sendo esta, uma doença altamente contagiosa, logo, o uso de Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs) assume uma importância de destaque, tanto por profissionais da área da saúde como para comunidade em geral. Como a transmissão do vírus é feita por inalação ou contato direto com gotículas infectantes, a medida de saúde pública mais utilizada juntamente com o distanciamento social e o uso de álcool, foi o uso de máscaras faciais. Para auxiliar na prevenção da doença, diferentes tipos de máscaras e respiradores começaram a ser utilizados, desta forma houve um interesse crescente da indústria para melhorar o desempenho das mesmas, tanto na questão de eficiência de filtração como na respirabilidade e conforto ao usuário. Neste sentido, destaca-se a utilização de nanomateriais incorporados aos têxteis utilizados em EPIs com dois objetivos principais (i) melhorar a filtração de partículas pequenas, como é o caso dos vírus e (ii) proporcionar uma propriedade antimicrobiana, sem alterar o conforto do material. Neste trabalho foi realizado uma revisão bibliográfica e uma análise bibliométrica a respeito da utilização de EPIs para prevenção da COVID-19 e de novas tecnologias que possam ser agregadas a EPIs de forma a tornar mais seguro o seu uso. Ao longo do trabalho foi possível observar que a nanotecnologia pode melhorar a qualidade de máscaras faciais e respiradores oferecendo mais eficiência, sendo reutilizáveis e principalmente com atividades antimicrobianas. A partir dos dados da análise bibliométrica pode-se observar que houve um crescimento notável nas pesquisas relacionadas ao tema especialmente nos anos 2020 e 2021 devido ao período pandêmico e a necessidade de novas tecnologias que pudessem auxiliar no controle do vírus SARS-CoV-2. Os EUA têm sido um dos países mais favorecidos por colaborar em pesquisas em nanotecnologia e EPIs, juntamente com países como Índia e Brasil, no entanto a China continua sendo o país que mais faz depósitos de patentes. Dentre os principais tipos de nanomateriais, tanto nas publicações quanto nas patentes, as nanopartículas de prata foram os materiais mais estudados. Os avanços nessa área poderão permitir a produção e transformação de produtos na área da saúde, que além de auxiliar na diminuição da transmissão da atual pandemia, também poderão fornecer formas de prevenção para futuros surtos.

**Palavras-chave:** nanotecnologia; COVID-19; EPI; Máscara facial;

ODS 3: Saúde e Bem-estar: Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos em todas as idades.

ODS 9: Indústria, Inovação e Infraestrutura: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.

## **ABSTRACT:**

In the context of the COVID-19 pandemic, which is a highly contagious and still incurable disease, the use of Personal Protective Equipment (PPE) is of paramount importance, both by health professionals and the community in general. As the transmission of the virus is done by action or direct contact with infectious droplets and the most carried out use with the use of a social protection measure. To help prevent the disease, different types of masks and respirators began to be a growing interest in the industry to improve their performance, both used for filtration and breathing and user comfort. In this sense, the use of nanomaterials incorporated into EPIS is highlighted with two main objectives (i) to improve the filtration of large particles, such as viruses and (ii) to provide an antimicrobial property, without changing the comfort of the material. This work was carried out a bibliographic review and bibliographic analysis regarding the use of PPE for the prevention of COVID-19 and new technologies that can be added to PPE in a safer way or its use. Throughout the work, it was possible to observe that nanotechnology can improve the quality of masks and respirators by offering more efficient, reusable processes with antimicrobial activities. From the data of the bibliometric analysis, it can be observed that there was a notable growth in the years 2020 and 2021 related to the theme, especially due to the pandemic period and the need for new technologies that could help in the control of the SARS-CoV-2 virus. The USA has been one of the most favored countries for collaborating in research and EP is nanotechnology, but with countries like Brazil it remains the country with the most patent filings. Among the main types of nanomaterials, both in patent publications, and silver nanoparticles were the most studied materials. Advances in this area can allow the production and transformation of health products, which in addition to fighting the current pandemic, can also provide ways to prevent future outbreaks.

**Keywords:** nanotechnology; COVID-19; PPE; Face mask;

## Sumário

1 . INTRODUÇÃO .....	10
2. OBJETIVOS .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
3. REVISÃO DA LITERATURA .....	13
3.1. COVID-19 E SARS-COV-2.....	13
3.2 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL .....	16
3.2.1. MÁSCARAS FACIAIS .....	17
3.2.2 MÉTODOS PARA TESTAR EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL.....	21
4. NANOTECNOLOGIA .....	28
4.1. COMO MELHORAR O DESEMPENHO DAS MÁSCARAS UTILIZANDO NANOTECNOLOGIA .....	29
4.2 TOXICIDADE DOS NANOMATERIAIS .....	32
4.3 PRODUTOS NO MERCADO .....	35
ARTIGO 1.....	38
<b>EPIS NANOTECNOLOGICOS: Percepções de uma Análise Bibliométrica de Publicações e Patentes Recentes e Tendências de Pesquisas .....</b>	<b>38</b>
Introdução .....	39
Metodologia.....	40
Resultados e Discussão.....	41
Conclusão .....	64
Referências .....	65
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	68
6. REFERÊNCIAS.....	68

## 1 . INTRODUÇÃO

A doença nomeada COVID-19 (do inglês *Coronavirus Disease 2019*) é causada pelo coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2) (do inglês *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*) (WHO, 2020). A detecção do vírus foi primeiramente reportada em Wuhan na China no final de 2019 (Chen et al., 2020). Desde então o vírus tem se espalhado mundialmente, emergindo como uma pandemia global. Os bloqueios e as restrições de viagens impostas para impedir a propagação do COVID-19 levaram a repercussões econômicas devastadoras (Zhu et al., 2020).

A OMS (Organização Mundial de Saúde) declarou no dia 30 de janeiro de 2020 que a pandemia já se tornava uma emergência na saúde global. Esse fato se confirmou quando em julho de 2020, contabilizavam-se quase 14 milhões de casos ativos por todo o mundo, atingindo aproximadamente 590 mil óbitos (O'DOWD et al., 2020a).

Até janeiro de 2022, mais de 362 milhões de casos de COVID-19 foram confirmados mundialmente, com o total de mais de 5 milhões de mortes. No Brasil, no mesmo mês, mais de 24 milhões de casos de COVID-19 foram confirmados, com cerca de 625 mil mortes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). Desta forma, a pandemia da doença do Coronavírus é uma grande ameaça não apenas para a saúde global, mas também representa um impacto socioeconômico de longo alcance em quase todos os países do mundo (RAMPAL, et al., 2020).

O controle de uma doença infecciosa é baseado no conhecimento de seu modo de transmissão. O epitélio nasal tem sido associado como porta de entrada para a infecção e transmissão inicial do Coronavírus (Zhou et al., 2020; Sungnak et al., 2020), sendo a transmissão de pessoa para pessoa, especialmente durante o contato próximo (dentro de 1–2 m), através das gotas respiratórias produzidas por uma pessoa infectada quando tosse ou espirra, a possível maior causa de transmissão (CDC, 2020c; CDC, 2020h; OMS, 2020q).

As melhores intervenções não farmacêuticas contra a propagação de doenças por via respiratória são denominadas medidas de distanciamento social, ou seja, reduzir o contato próximo entre os indivíduos. No entanto, quando o distanciamento social não for possível, o equipamento de proteção individual

é o modo aceito de autoproteção. Máscaras e respiradores são indiscutivelmente as peças mais importante dos EPIs. Eles são uma barreira física para gotículas respiratórias que podem entrar pelo nariz e boca e para as gotículas expulsas de mucosas de indivíduos infectados. Desta forma, seu papel pode ser particularmente importante na COVID-19, uma vez que os indivíduos infectados podem estar transmitindo vírus enquanto assintomáticos ou pré-sintomáticos (CHUA et al., 2020).

Existem muitos tipos diferentes de máscaras faciais e respiradores que oferecem variados níveis de proteção aos usuários. Todos eles servem ao propósito geral de fornecer alguma forma de proteção contra contaminantes presentes no ar, desde pólen a vapores químicos e patógenos. Os contaminantes no ar diferem muito em tamanho, dependendo da sua natureza (CHUA et al., 2020). O SARS-CoV-2 tem um tamanho que varia de 60 a 140 nm, menor que bactérias (0,2-2  $\mu\text{m}$  ), poeira (2,5-10  $\mu\text{m}$  ) e pólen (15-200  $\mu\text{m}$ ). Portanto, máscaras e respiradores feitos de materiais com tamanhos de poros maiores, como algodão e tecido sintético, não serão capazes de filtrar efetivamente vírus ou pequenas gotículas carregadas de vírus, em comparação com aqueles feitos de materiais com tamanhos de poros muito menores (KUTTER et al., 2018).

No início da pandemia, devido a escassez de suprimentos, muitas pessoas recorreram a fazer suas próprias máscaras, reciclar máscaras usadas ou se contentar com máscaras que oferecem menos proteção do que realmente necessário. Ao mesmo tempo, pesquisadores trabalharam arduamente para resolver a questão da escassez de máscaras faciais, bem como para melhorar a proteção oferecida pelos modelos de máscaras existentes. Esses esforços incluem a aquisição e engenharia de materiais alternativos com capacidade de filtragem suficiente, a engenharia do projeto de máscaras e respiradores para melhor proteção, respirabilidade e conforto do usuário, o desenvolvimento e engenharia de máscaras e materiais multifuncionais com propriedades hidrofóbicas e antimicrobianas, propriedades de autodesinfecção e até de detecção viral, e a pesquisa de novas tecnologias para produção e personalização eficientes de máscaras, por exemplo, nanotecnologia e impressão 3D (EIKENBERRY et al., 2020; LEUNG et al., 2020; SWENNEN; POTTEL; HAERS, 2020).

Atualmente, as máscaras faciais são usadas de acordo com as recomendações das autoridades nacionais, tornando-se um novo normal das sociedades na pandemia de COVID-19 (JAVID; WEEKES; MATHESON, 2020). Uma revisão sistemática recente e amplamente citada de estudos observacionais publicados na Revista *The Lancet* demonstrou que o uso de máscaras faciais reduziu mais da metade o risco de infecção por SARS, MERS e SARS-CoV-2 (CHU et al., 2020).

As tentativas de aprimorar as máscaras se concentram na compreensão dos conceitos básicos da tecnologia de produção de máscaras. As questões fundamentais, serem consideradas no preparo de máscaras são as seguintes: (i) como as máscaras (e os materiais das máscaras) protegem de patógenos; (ii) quais são os modelos e materiais de máscaras disponíveis no mercado; (iii) como eles executam e como seu desempenho é comparado com outros; (iv) quais são suas limitações; (v) como melhorar seu desempenho; (vi) quais novos recursos que podem ser incorporados em materiais e modelos existentes?

Nesta dissertação foi realizada uma revisão bibliográfica e análise bibliométrica a respeito da utilização de EPIs para prevenção da COVID-19 e de novas tecnologias que possam ser agregadas a EPIs de forma a tornar mais seguro o seu uso. Logo, a análise bibliométrica se detém em utilizar bancos de dados acadêmicos, a fim de facilitar a compreensão de pesquisadores em relação a tendência de publicações relacionados a determinados tópicos (COOPER, 2015). Em relação a melhoria da efetividade dos EPIs, uma possibilidade seria o próprio EPI possuir propriedades antivirais, reduzindo ainda mais as chances de contágio entre as pessoas. Para isso, novas tecnologias, tais como a nanotecnologia, podem ser utilizadas para desenvolver os produtos com essas características. Abordagens baseadas em nanotecnologia devem ser aproveitadas para ajudar na luta contra COVID-19, uma vez que os nanomateriais podem ser integrados em EPIs impedindo a entrada do SARS CoV-2 no sistema respiratório (PANKAJ KUMAR TYAGI et al., 2020).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar uma revisão bibliográfica e análise bibliométrica a respeito da utilização de EPIs para prevenção da COVID-19 e de como a nanotecnologia pode ser agregada a EPIs de forma a tornar mais seguro o seu uso.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- a) Realizar uma revisão da literatura científica sobre equipamentos de proteção individual utilizados na pandemia e a nanotecnologia como forma de aumentar o potencial de prevenção desses materiais;
- b) Realizar uma análise bibliométrica sobre EPIs nanotecnológicos utilizando publicações no período de 2016 a 2021 e patentes no período de 2016 a 2021.

## **3. REVISÃO DA LITERATURA**

### **3.1. COVID-19 E SARS-COV-2**

Os coronavírus são divididos em quatro subfamílias: coronavírus alfa, beta, gama e delta. Os alfa e beta-coronavírus se originam de mamíferos, principalmente morcegos, enquanto os coronavírus gama e delta se originam de porcos e pássaros (GUO et al., 2020). Os beta coronavírus podem causar doenças graves e fatalidades em humanos (VELAVAN; MEYER, 2020). O beta-coronavírus B da linhagem SARS-CoV-2 é um vírus de RNA de fita simples de 29,9 kb de sentido positivo excepcionalmente grande, não segmentado, (variando de ~ 26.000 a 32.000 bases) (FORNI et al., 2017; WU et al., 2020a, 2020b; ZHOU et al., 2020). Desde o início da pandemia novas variantes de SARS-CoV-2 tem sido identificadas, sendo algumas mais letais e outras mais transmissíveis como a Ômicron, que atualmente atinge vários países, inclusive o Brasil (ESPINOZA R.; CRUZ CH., 2021). Esta variante já é dominante no país, sendo responsável por pelo menos 97 dos casos de COVID-19 sequenciados no Brasil, segundo os dados da plataforma online *Our World in Data* e dados publicados pela Cable News Network Brasil (CNN BRASIL, 2021; HANNAH RITCHIE et al., 2020).

O genoma viral do SARS-CoV-2 foi rapidamente sequenciado para permitir testes de diagnósticos, rastreamento epidemiológico e desenvolvimento de métodos preventivos e estratégias terapêuticas (ARONS et al., 2020). Tem aproximadamente 29.800 nucleotídeos de comprimento (WU et al., 2020a) e tem as características dos coronavírus gerais, contendo 3 conjuntos de estruturas de leitura aberta (ORF) que codificam grupos de proteínas. Proteínas estruturais S (pico), E (envelope), M (membrana) e N (nucleocapsídeo) que são blocos de construção essenciais das partículas virais. O nome “Coronavírus” é derivado da densa matriz de glicoproteínas virais, as proteínas S, na superfície da partícula do vírus, arranjo que, no microscópio eletrônico, aparece como uma coroa ao redor da partícula do vírus (WONG et al., 2004). A entrada celular do coronavírus depende da ligação da proteína viral *spike* (S) a um receptor celular específico, sendo que o SARS-CoV-2 utiliza o receptor ECA2 (*Enzima conversora de angiotensina 2*) para entrada celular. A afinidade de ligação da proteína S a ECA2 foi considerada um dos principais determinantes da taxa de replicação da SARS-CoV-2 e da gravidade da doença. A entrada viral também depende da atividade da protease TMPRSS2 (*Transmembrane protease serine 2*) (Zhou et al., 2020; Hofmann et al., 2020; Sungnak et al., 2020). Recentemente, um estudo destacou a elevada expressão de ECA2 e TMPRSS2 no epitélio nasal e córneo. Esses achados são importantes para melhor entender a transmissibilidade viral, considerando que a infecção primária ocorre por gotículas infectantes (Sungnak et al., 2020).

O vírus liga-se às células epiteliais das vias aéreas, células epiteliais alveolares, células endoteliais vasculares e macrófagos pulmonares, uma vez que todos expressam ACE2. Os enterócitos também expressam o receptor de entrada para o SARS-CoV-2 e, portanto, têm a estrutura-alvo mais importante para vírus e podem ser infectados (ZHOU et al., 2020; ZIEGLER et al., 2020).

O Vírus SARS-CoV-2, é transmissível por gotículas através do contato, ou por disseminação aérea em locais fechados e ambientes hospitalares. Uma pessoa que apresenta COVID-19 consegue transmitir o vírus para outras pessoas, dependendo das condições ambientais. Pode-se destacar que ambientes fechados que apresentam pouca luminosidade e pouca ventilação tornam-se propícios à transmissão do vírus (MEDEIROS, 2020).

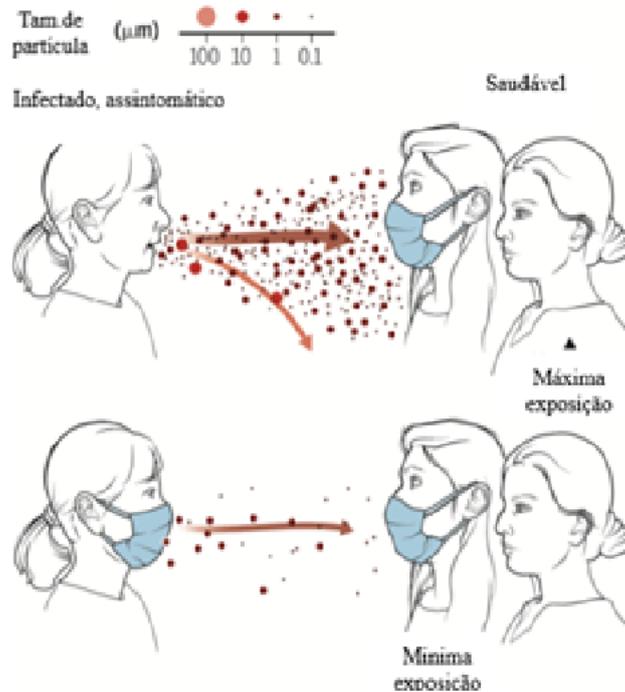
O SARS-CoV-2 consegue permanecer no ambiente por horas e até mesmo dias, conforme a superfície e as condições ambientais. A transmissão também pode ocorrer por contato indireto, ou seja, por meio de fômites, são materiais ou até mesmo objetos que conseguem absorver, reter e transportar organismos contagiantes ou infecciosos. O vírus consegue se manter e sobreviver por um tempo em objetos, por mais que diminua significativamente a carga viral (KUTTER et al., 2018; VAN DOREMALEN et al., 2020).

Além disso, a transmissão do vírus pode ocorrer pelo ar, de duas formas, pela propagação de gotículas e pela propagação pelo ar. O vírus pode ser liberado quando o indivíduo está infectado, através da tosse, da fala, do espirro, podendo ser encontrados em tamanhos variados de partículas. Já a propagação pelo ar acontece com patógenos presentes em gotículas exaladas, que permanecem flutuando por um certo tempo, sendo capazes de percorrer longas distâncias (LEUNG et al., 2020).

Um aspecto importante em relação a transmissão do vírus do COVID-19, está na alta carga viral presente no trato respiratório superior, mesmo entre indivíduos assintomáticos, pois muitos pacientes as vezes não apresentam os sintomas principais como febre e tosse, o que não evita a transmissão à outros pacientes (ARONS et al., 2020), como ilustra a figura 1. Entretanto, o isolamento residencial, distanciamento social e o uso de máscaras, associados como formas de higiene, possibilitaram diminuição da transmissão do vírus e diminuir o número de pessoas visando atendimentos hospitalares (FERIOLI et al., 2020).

## Máscaras reduzem a transmissão aérea

Partículas de aerossóis infecciosas podem ser liberadas durante a respiração e a fala por indivíduos infectados assintomáticos. Ausência de máscara maximiza a exposição. O mascaramento universal resulta em menor exposição.



**Figura 1.** Transmissão entre pessoas do vírus SARS-CoV-2 (Adaptado de PRATHER; WANG; SCHOOLEY, 2020).

### 3.2 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Conforme aponta a OMS, o vírus é transmitido principalmente pelo contato com as pessoas, por gotículas respiratórias provenientes da tosse, espirro ou mesmo da conversa íntima com outro indivíduo. Desta forma, uma das formas de prevenção para o combate ao SARS-CoV-2 é o uso correto dos EPIs, como luvas, aventais e especialmente máscaras faciais, tanto para os profissionais de saúde quanto para a população em geral (DELLWEG et al., 2020).

Segundo Li et al.(2021b), as máscaras protetoras são encontradas em diferentes tipos: (i) máscaras cirúrgicas, (ii) máscaras respiratórias (LI et al., 2021a), (iii) máscaras faciais descartáveis (uso único) (PALMIERI et al., 2021), (iv) máscaras de pano (KONDA et al., 2020), além do (v) modelo de protetor facial (*face Shields*) (ROBERGE, 2016). (Figura 2)



**Figura 2.** Tipos de máscaras popularmente utilizadas (Adaptado de Observatório Covid-19).

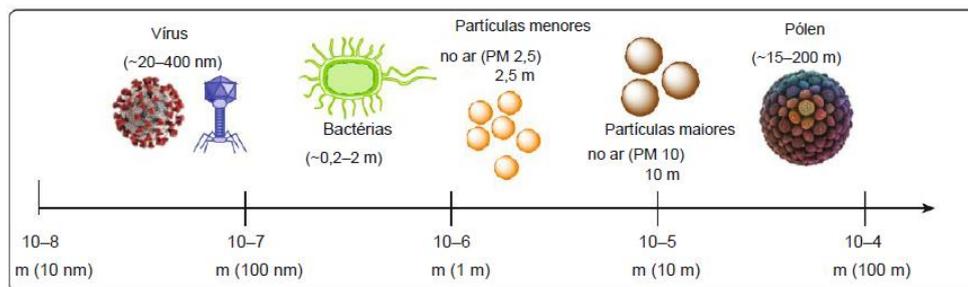
### 3.2.1. MÁSCARAS FACIAIS

Os materiais mais estudados na fabricação de máscaras incluem substâncias fibrosas não tecidas, como polipropileno, papéis de vidro e feltro de lã. Esses materiais têm sido utilizados na fabricação de equipamentos de proteção individual desde o início do século XX, e provaram ser capazes de suportar altas temperaturas durante a autoclavagem sem nenhuma alteração na estrutura. A eficiência de filtração da membrana depende da estrutura (tamanho dos poros, organização das fibras), carga das fibras, espessura e diâmetro das fibras, densidade de empacotamento do material. Desta forma, fibras com pequeno diâmetro e grande área superficial que formam pequenos vazios quando comparadas às fibras longas, levam a uma maior eficiência de filtragem (O'DOWD et al., 2020b).

Os materiais usados para filtrar as partículas submicrônicas também devem permitir que a pessoa respire e não entupir quando as partículas aderirem à superfície das máscaras. Os principais mecanismos envolvidos na remoção de partículas incluem sedimentação por gravidade, impactação inercial, difusão e atração eletrostática. Tem sido relatado que partículas maiores que 0,3  $\mu\text{m}$  são retidas principalmente por impactação inercial, enquanto partículas abaixo de 0,2  $\mu\text{m}$  são capturadas por filtração e atração eletrostática (O'DOWD et al., 2020a).

As máscaras cirúrgicas acabaram se tornando as máscaras protetoras mais comuns e utilizadas. Elas se destacam por apresentarem três camadas em sua constituição: a camada mais externa se caracteriza por ser hidrofóbica, no centro da máscara há uma camada filtrante colocada entre duas camadas de tecido não tecido, sendo a camada interna a mais absorvente e que permanece em contato com a pele do usuário (LI et al., 2021a; TCHARKHTCHI et al., 2021).

Em relação a proteção, é um tipo de máscara que se caracteriza pelo seu ajuste à face e pelo poder de bloquear grandes gotas respiratórias, mas que não apresenta a capacidade de filtrar pequenas partículas. Segundo Milton et al., (2013), as máscaras cirúrgicas tendem a limitar a liberação de gotículas maiores que 5  $\mu\text{m}$ . Portanto, não seriam suficientes para limitar a emissão de pequenas gotas (TCHARKHTCHI et al., 2021). O que não as tornaria um EPI completamente seguro para pandemia atual, visto que o SARS-CoV-2 é considerado um vírus citopático sendo transmitido principalmente por gotículas de infecção, na qual ele apresenta um diâmetro de aproximadamente 60-140 nm, como ilustra a figura 3.



**Figura 3.** Gráfico de tamanho relativo de contaminantes comuns no ar. (Adaptado de CHUA et al., 2020).

Mesmo que a máscara cirúrgica não seja uma forma completamente segura de proteção, o EPI apresenta uma espécie de escudo que vai proteger o usuário de um fluxo de fluidos, como espirros e tosse, gotículas de líquido e aerossóis vindos da boca e/ou do nariz do usuário (PHAN; CHING, 2020). Outros estudos relatam que não há diferença de proteção significativa entre as máscaras cirúrgicas e as máscaras N95 (COWLING et al., 2010; JOHNSON et al., 2009), mas não há pesquisas suficientes para apoiar a eficácia das máscaras cirúrgicas na redução do risco de infecção (BAŁAZY et al., 2006; COWLING et al., 2010). As máscaras cirúrgicas são feitas para serem utilizadas apenas uma vez, sem reutilização. A OMS, em Abril de 2020, recomendava o uso desse tipo de máscaras no limite de 4 horas.

O respirador tipo N95 (máscaras N95 nos EUA e máscaras FFP2 na Europa) pode filtrar até 95% dos aerossóis com tamanho próximo a 0,3  $\mu\text{m}$  e possui quatro camadas: a camada interna, uma camada de suporte, uma

camada de filtro e uma camada de máscara de filtro de dentro para fora (ZHOU et al., 2018; RODRIGUEZ-MARTINEZ; SOSSA-BRICEÑO; CORTÉS, 2020). Este modelo é considerado seguro para proteção contra o vírus SARS-CoV-2, pela maioria dos autores, porém outros afirmam que os respiradores do tipo N95 não garantem segurança suficiente contra partículas de aerossol com tamanho menor que 300 nm (BAŁAZY et al., 2006). Tsai (2020), destaca que a filtração das máscaras N95 não diminui após 8 horas de utilização contínua (TSAI, 2020) e há estudos relatando o uso prolongado e seguro por mais de 12 horas contínuas desse EPI (REBMANN; CARRICO; WANG, 2013).

Na Tabela 1 podemos visualizar as características gerais das máscaras e comparar suas principais diferenças.

**TABELA 1 - Características gerais das máscaras de proteção facial**

MÁSCARAS	CARACTERÍSTICAS	FILTRAÇÃO	AJUSTE	VANTAGENS	REFERÊNCIAS
<b>Respirador N95</b>	<u>4 CAMADAS:</u> camada interna, camada de suporte, camada de filtro, camada de máscara de filtro de dentro para fora	Filtram gotículas com tamanho próximo de 0,3µm	Bem ajustado ao rosto	Apresenta alta proteção	(LEUNG et al., 2020; LI et al., 2021a; ZHOU et al., 2018).
<b>Máscaras Cirúrgicas</b>	<u>3 CAMADAS:</u> camada interna, camada externa e camada do centro	Filtram gotículas com tamanho próximo de 5 µm	Apresenta ajuste ao rosto	É um EPI de fácil obtenção e confortável	(ARAGAW, 2020; BURNETT et al., 2018; LI et al., 2021a; TCHARKHTCH I et al., 2021).
<b>Máscaras faciais de uso único/ Máscaras de pano</b>	Uma única camada	Não realizam filtração de partículas pequenas	Ajuste mais solto	Acessível ao custo, lavável e reutilizável, sendo mais confortável.	(KONDA et al., 2020; LI et al., 2021a; PALMIERI et al., 2021).

Já as máscaras descartáveis de uso único geralmente são produzidas a partir de uma única camada mais fina, portanto não podem filtrar partículas muito pequenas, podendo variar em sua constituição. Por outro lado, são capazes de bloquear a passagem de gotículas, tornando-as importantes quando o fornecimento de máscaras é limitado (PALMIERI et al., 2021). Esse tipo de máscara descartável não atende aos requisitos de máscaras cirúrgicas e, portanto, não são normalmente utilizadas em ambientes de saúde. Porém, quando o fornecimento de máscaras do tipo cirúrgico e respiratório é restrito, mesmo para profissionais de saúde, as máscaras descartáveis (uso único) tornam-se uma opção (LI et al., 2021a).

Podemos citar também as máscaras de pano, que são um tipo de máscara mais simples e comum, que pode ser usado em períodos mais severos, como o exemplo do cenário inicial da pandemia. Em tempos de escassez ou indisponibilidade de respiradores e/ou máscara facial, muitos indivíduos optaram por produzir máscaras de pano para segurança respiratória (KONDA et al., 2020).

Autores enfatizam a importância e a necessidade de avaliar a eficiência de filtração em relação aos tamanhos de partículas de aerossol na faixa de 10 nm a 10  $\mu$ m, o que é relevante para a transmissão de vírus respiratórios (KUTTER et al., 2018; MILTON et al., 2013; STELZER-BRAID et al., 2009). Destaca-se o estudo de Rengasamy et al, (2010) que estudaram a penetração de gotículas de aerossol em cinco tipos de materiais em tecidos, entre estes está a máscara de pano comparada à filtração do respirador N95. Foram realizados testes para aerossóis de diferentes tamanhos em torno de 20-1000 nm, e concluíram que a penetração das partículas nas máscaras de pano era muito maior do que nas máscaras de filtro do respirador N95 (Rengasamy et al, 2010).

No entanto, as informações relacionadas ao desempenho de materiais de pano comuns ainda são limitadas (DAVIES et al., 2013; MACINTYRE et al., 2015; SHAKYA et al., 2017; VAN DER SANDE; TEUNIS; SABEL, 2008), então esse fato torna-se relevante na atualidade, visto que a eficácia relativa de diferentes tamanhos de gotículas na transmissão do vírus causador do COVID-19 ainda não está esclarecida (MORAWSKA; CAO, 2020; SANTARPIA et al., 2020; VAN DOREMALEN et al., 2020; WANG; YU, 2020).

Temos ainda a máscara Face Shields que se caracteriza por possuir 2 partes, uma é o elástico que fica na cabeça e a outra parte serve como uma proteção facial transparente. Ela é constituída por Policarbonato (PC) de constituição rígida e tem a função de ser um escudo protetor para todas as partes do rosto (olhos, nariz e boca) em contato direto com gotículas infecciosas que são geradas ao falar, tossir e espirrar (JOE ALLEN BATTY, [s.d.]; MOSTAGHIMI et al., 2020). Além disso, serve como protetor facial adicional utilizado na frente da máscara facial, sendo um equipamento auxiliar de proteção individual, a disposição dos profissionais de saúde e da comunidade em geral (ROBERGE, 2016). Essa proteção facial se caracteriza por ser durável e fácil de higienizar e desinfetar, podendo ser reutilizada sem limite de tempo (LI et al., 2021b).

A escassez de abastecimento de EPIs enfrentadas por muitos hospitais de diferentes países, levou a medidas rápidas, como a descontaminação e reutilização de máscaras faciais. Logo, esforços foram feitos por pesquisadores para encontrar a melhor maneira de descontaminar as máscaras faciais para posteriormente serem reutilizadas (CHUA et al., 2020; PALMIERI et al., 2021).

### **3.2.2 MÉTODOS PARA TESTAR EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL**

Os modelos de máscaras e respiradores existentes são capazes de atender às necessidades dos usuários em termos de nível de proteção contra patógenos transportados pelo ar, no entanto, ainda há pesquisas e esforços intensos para melhorar a filtragem e o desempenho, bem como o conforto e facilidade de uso (CHUA et al., 2020).

Normas expedidas pela ASTM Internacional (*American Society for Testing of Materials*), especificam a forma de escolher a máscara facial correta em relação as propriedades necessárias e também testes realizados com o material de produção de máscaras faciais; portanto, as máscaras faciais são adequadas para uso de acordo com o desempenho em vários testes, como eficiência de filtração bacteriana e viral, resistência a fluidos, inflamabilidade, respirabilidade, entre outros (USING, P., SPHERES, L., 2005) (Figura 4).



**Figura 4.** Testes que avaliam o desempenho de máscaras faciais (Adaptado de FOROUZANDEH; O'DOWD; PILLAI, 2021a)

#### a. Eficiência de Filtração (FE)

Ao se falar em avaliação da eficiência de filtração do EPIs, é necessário avaliar diferentes parâmetros, tais como eficiência de filtração de partículas (PFE), eficiência de filtração viral (VFE) e bacteriana (BFE) (RENGASAMY ET AL, 2010; ADAMS, 2020). Como as máscaras faciais são parte integrante do kit de equipamento de proteção individual para uso médico, esses métodos padronizados garantem consistência e segurança na produção de máscaras e validação de testes, ajudando o usuário final a fazer a escolha mais informada e adequada do EPI para a aplicação do uso pretendido (ASTM INTERNATIONAL, 2010. ASTM F2299/F2299M, 2010; CHUA et al., 2020). Em geral, a eficiência de filtração de máscaras e respiradores é medida usando a mesma equação de eficiência de filtração de partículas (PFE).

#### b. Eficiência de Filtração de Partículas (PFE)

Para Velavan e Meyer, (2020), o teste de eficiência de filtração de partículas (PFE) é realizado para indicar a qualidade das máscaras cirúrgicas; entretanto, não é considerado um tipo de marcador de desempenho para proteção respiratória. A principal função do teste é medir a eficiência de filtração das máscaras faciais contra partículas monodispersas de diferentes tamanhos sob uma taxa de fluxo de ar constante (VELAVAN; MEYER, 2020).

De acordo com a orientação da *Food and Drug Administration* (FDA), o teste para avaliar a eficiência de filtração de partículas deve ser realizado usando partículas de látex de poliestireno de 0,1  $\mu\text{m}$ , com isso, a eficiência de filtração de partículas (PFE) pode ser definida como a porcentagem de partículas de látex monodispersas não neutralizadas que não passam pela máscara facial em uma taxa de fluxo de inalação especificada (ASTM INTERNATIONAL, 2010. ASTM F2299/F2299M, 2010).

O teste de eficiência de filtração de partículas também é avaliado por meio de uma equação,

$$\text{Equação PFE (\%)}: \frac{Cu - Cd}{Cu} \times 100$$

Onde Cu é o aceptor (antes da filtração) e Cd é o receptor (após filtração) e os resultados do teste PFE devem estar entre 1 e 99,99%. Quanto maior a porcentagem, melhor será a filtragem da máscara (ASTM INTERNATIONAL, 2010. ASTM F2299/F2299M, 2010).

### c. Eficiência de Filtração Bacteriana (BFE)

O método de eficiência de filtração bacteriana (BFE), analisa a capacidade das máscaras de impedir que as partículas grandes vindas da tosse, falas e espirros, com distribuição de tamanho de 0,6 µm ou até milhares de microns sejam expelidos pelo usuário da máscara (ANFINRUD et al., 2020; HAN; WENG; HUANG, 2013; YANG; CLAUSEN, 2007), logo o BFE é realizado seguindo o protocolo do ASTM 2101, que utiliza gotículas aquosas de aerossol bacteriano, com diâmetro médio de 3µm (ASTM F2101-14, 2014., [s.d.]; ASTM F2101-19, [s.d.]).

A técnica têm sido realizada usando um aerossol biológico da bactéria *Staphylococcus aureus* (tamanho de 3 µm de diâmetro) (ASTM F2101-19, [s.d.]). Para Valaperta e Klein, o motivo do uso e escolha do *S.aureus*, se deve à sua relevância clínica, visto que se caracteriza como uma das principais causas de infecções hospitalares em ambientes de saúde (KLEIN; SMITH; LAXMINARAYAN, 2007; VALAPERTA et al., 2010)

A medição da eficiência de filtração bacteriana das máscaras é dada pela equação:

$$\text{Equação BFE (\%)}: \frac{CFUi - CFUo}{CFUi} \times 100$$

Onde:

CFUi = número de colônias bacterianas na ausência de um filtro

CFUo = número de colônias bacterianas na presença de um filtro

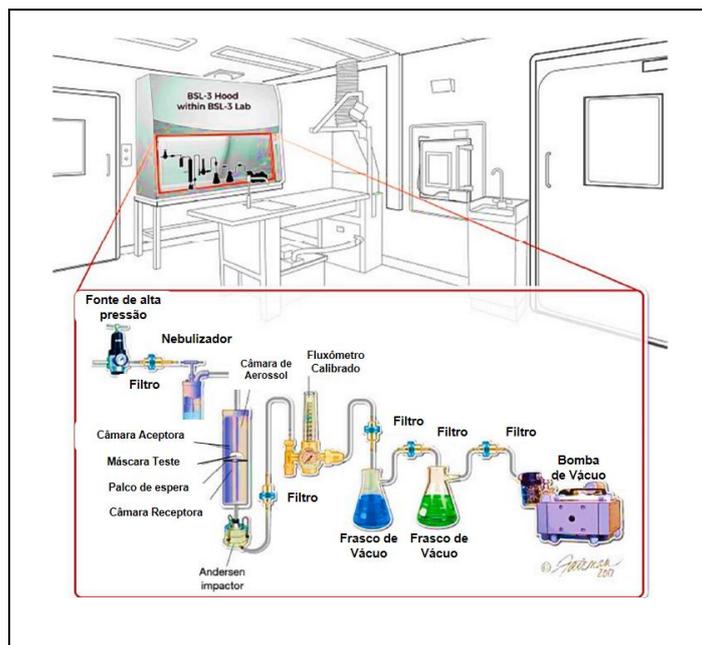
Como resultado, a norma ASTM F2101 demonstra que o valor de eficiência de filtração bacteriana deve estar entre 1 e 99,9%. Para máscaras

cirúrgicas o valor mínimo da taxa de BFE deve ser de pelo menos 95%, para máscaras de proteção média de pelo menos 98% e de alta proteção de 99% (ASTM F2101-19, [s.d.]).

#### **d. Eficiência de Filtração Viral (VFE)**

Os equipamentos de proteção como máscaras e respiradores devem ser testados em relação a capacidade de filtração viral, isso porque os vírions são uma das menores partículas existentes, com diâmetro entre 20-300 nm. Portanto, a eficiência de filtração viral (VFE) é outro teste importante usado pelos fabricantes de máscaras e respiradores faciais com filtro N95 (O'DOWD et al., 2020a). Com base na ASTM F1671, a resistência do equipamento de proteção individual à penetração do vírus deve ser determinada com o auxílio do teste de penetração viral, que consiste nas determinações de aprovação/reprovação do material de proteção baseadas na detecção de penetração viral (ASTM INTERNATIONAL, 2010. ASTM F2299/F2299M, 2010). Este ensaio também tem sido aplicado pelos produtores têxteis como forma de garantir a qualidade dos materiais que normalmente são utilizados na fabricação de EPIs (FOROUZANDEH; O'DOWD; PILLAI, 2021a).

O teste de eficiência de filtração de vírus pode ser realizado através do dispositivo de teste de filtração de aerossol, que é mostrado na Figura 5 (Steve Zhou et al., 2018). O teste deve ser realizado em câmara de fluxo laminar e tem sido utilizada para testar a capacidade de filtragem de vários tipos de máscaras contra a penetração de influenza e rinovírus. As amostras são localizadas entre duas câmaras (a aceptora e a receptora) (Steve Zhou et al., 2018).



**Figura 5.** Ilustração esquemática do teste de filtração viral. (Adaptado de ZHOU et al., 2018).

O valor de penetração viral é apresentado como a fração das partículas em um determinado diâmetro, que podem penetrar e passar da barreira (Bałazy et al., 2006). A capacidade de filtragem dos dispositivos de proteção individual pode ser descrita pela Equação da seguinte forma:

$$\text{VFE (\%)}: \frac{(C2-C0) \times 100}{(C1-C0)}$$

Em que, C1 e C2, representam a concentração de aerossol na frente e atrás do filtro, respectivamente, e C0 representa a leitura do fotômetro de concentração de aerossol para ar limpo (sem partículas).

#### e. Método NIOSH NaCl

Seguindo os requisitos do protocolo NIOSH (*National Institute for Occupational Safety & Health*) o método baseado em aerossol de cloreto de sódio (NaCl) é um dos métodos de teste mais comuns para máscaras faciais e respiradores (RENGASAMY ET AL, 2010; RENGASAMY et al., 2018). A fim de cumprir os padrões NIOSH (Pré-certificação de respirador), máscaras e respiradores são destinados a testes de inalação/expiração, bem como testes de válvula de vazamento, teste de ftalato de dioctila (DOP) e aerossol de NaCl. O

teste DOP avalia a penetração de partículas e a resistência ao fluxo de ar, enquanto que no teste de aerossol de NaCl, as amostras são submetidas a NaCl aerossolizado e a quantidade de NaCl que passa pela amostra que é utilizada para determinar a eficiência de filtração (O'DOWD et al., 2020a).

Para realização do teste de aerossol a base de NaCl, primeiro é feito uma polidispersão não tóxica de partículas de aerossol (NaCl) utilizadas com o propósito de gerar partículas e fornecer tamanhos de partícula entre 10 nm e 10 µm. Após, através de câmaras de geração, mistura e coleta, o aerossol é misturado e passa pela câmara de mistura que entra em contato com a amostra de teste juntamente com uma entrada de ar; e por último, a taxa de fluxo de ar é realizada em um tubo conectado as duas câmaras (divisão de segurança pessoal 3M, 2020; (BAŁAZY et al., 2006; KONDA et al., 2020). Assim, são geradas partículas de diferentes tamanhos, para posteriormente serem determinadas as dimensões, assim como, as concentrações de partículas que ultrapassam a máscara de amostra (CHUA et al., 2020; KONDA et al., 2020).

#### **f. Resistência a Fluidos**

O teste de resistência a fluidos tem a função de avaliar a capacidade da máscara em atuar como barreira à transferência de fluidos da camada externa para a camada interna, em relação à pulverização ou respingos de fluido como espirros, salivas, sangue sintético esguichado (CHUA et al., 2020; FOROUZANDEH; O'DOWD; PILLAI, 2021b).

Em seu estudo, Borkow e colaboradores (2010) relatam que a resistência a fluidos em máscaras cirúrgicas e N95 é regulada de acordo com a técnica de teste encontrada no protocolo ASTM F1862, que é intitulado "resistência à penetração por sangue sintético", servindo para medir a resistência a fluidos dos respiradores (ASTM F2101-19, [s.d.]; BORKOW et al., 2010). Assim, as determinações de aprovação/reprovação é relacionada a detecção visual da penetração do sangue sintético na camada interna (CHUA et al., 2020).

#### **g. Resistência à chama**

Normalmente, os materiais que compõem as máscaras são inflamáveis, como no caso das fibras sintéticas e naturais, os riscos potenciais para o usuário são conseqüentemente aumentados devido à velocidade e intensidade da

propagação da chama. Com isso, ressalta-se a importância dos materiais utilizados nas máscaras e respiradores para não apresentarem nenhum risco ao usuário, devendo sua inflamabilidade ser mínima ou mesmo inexistente (DAS, 2016; RENGASAMY; NIEZGODA; SHAFFER, 2018)

Os padrões ASTM F2100-11 priorizam o teste de resistência à chama para todos os tipos de máscaras médicas, portanto, a inflamabilidade da máscara deve ser avaliada de acordo com a Norma 16 CFR Parte 610 para Têxteis de Vestiários (USING, P., SPHERES, L., 2005). É importante destacar que em hospitais existem fontes de ignição que podem aumentar o risco, como calor, fontes de combustível e oxigênio (CHUA et al., 2020).

O teste de inflamabilidade é baseado no tempo de queima e avalia o tempo necessário para que a chama penetre na amostra até que o dispositivo de parada seja acionado, para posteriormente registrar o tempo de teste. Durante o teste, o material que compõe a máscara não deve ser inflamável ou permanecer inflamável por mais de 5 segundos após a queima. De acordo com o protocolo ASTM F2100, que avalia o desempenho dos materiais usados nas máscaras faciais médicas, as máscaras devem atender aos requisitos de inflamabilidade Classe I, que é caracterizada por representar a categoria do material, apresentando resistência normal ao fogo, tornando-se adequado ao uso em máscaras e respiradores, devendo apresentar tempo médio de queima de aproximadamente 3,5 segundos (USING, P., SPHERES, L., 2005).

#### **h. Pressão Diferencial (Delta-P)**

A realização do teste de pressão diferencial, torna-se um indicador da resistência ao fluxo de ar das máscaras faciais, como também a relação do EPI com a respirabilidade e seu conforto (FOROUZANDEH; O'DOWD; PILLAI, 2021a). O teste é feito através de um fluxo de ar que passa pela máscara de forma controlada, para posteriormente, as várias pressões serem calculadas conforme as camadas externas e internas da máscara facial (Standard and Yy, 2013).

A pressão diferencial normalmente é expressa em unidade de  $\text{mmH}_2\text{O}/\text{cm}^2$ , onde a menor diferença de pressão em ambos os lados (camada interna e externa), resulta em uma maior respirabilidade, portanto, oferecendo

melhor nível de conforto geral ao usuário (CHUA et al., 2020; FOROUZANDEH; O'DOWD; PILLAI, 2021a).

#### **i. Teste de ajuste da peça facial**

O teste de encaixe visa avaliar e posteriormente prevenir a existência de qualquer vazamento de máscaras e respiradores antes mesmo do uso (KIERSMA, 2014). A principal função desse teste é fornecer o encaixe ideal e a vedação adequada para máscaras e respiradores faciais. O *Health and Safety Executive* (2016), destaca que existem diferentes condições que devem ser repetidas em relação aos testes de ajuste, como a possibilidade de o usuário ter ganho ou perdido peso, caso o usuário tenha sofrido alguma imperfeição ou transformação no rosto, ou se o usuário alterou o tipo, tamanho, modelo ou mesmo material do equipamento de proteção respiratória.

Dados da literatura indicam que os respiradores são mais eficazes quando comparados às máscaras, isto se deve ao fato de que este tipo de equipamento possui em sua constituição dispositivos que auxiliam na proteção em relação a um bom encaixe ou ao material filtrante que são capazes de impedir a penetração de partículas muito pequenas através do trato respiratório (BAŁAZY et al., 2006).

### **4. NANOTECNOLOGIA**

A nanotecnologia é uma tecnologia emergente que tem sido usada em uma ampla gama de produtos que apresentam faixa nanométrica, com os tamanhos que variam de 1 a 1000 nm. Os nanomateriais possuem uma grande relação superfície/volume, exibem propriedades físicas, químicas e biológicas que são diferentes de materiais de tamanho superior (YETISEN et al., 2016). Área de superfície, ponto de fusão, fluorescência, condutividade elétrica, permeabilidade magnética e reatividade química são exemplos de propriedades que mudam em função do tamanho da partícula. Esse fenômeno causa interações seletivas com sistemas biológicos, especialmente com organismos nanométricos, como os vírus (PEMMADA et al., 2020; SALEEM; ZAIDI, 2020). Desta forma, a nanotecnologia consegue ser aplicada em uma infinidade de áreas, incluindo sistemas de liberação de fármacos (FAN; ZHANG, 2013; SUNG; SONAJE; FENG, 2011; WU et al., 2013), desenvolvimento de vacinas (MITTAL

et al., 2013, 2015), métodos de diagnóstico e imagem (NURUNNABI et al., 2014), e na indústria de tecidos/vestuário (YETISEN et al., 2016). Os avanços na tecnologia do vestuário podem ser representados pelos têxteis funcionais de nanoengenharia, que possuem nanomateriais incorporados aos têxteis para conferir novas funções sem alterar o conforto do usuário.

Em função da pandemia, vários produtos com base nanotecnológica foram foco de pesquisa nos últimos 2 anos. Dada a importância do uso de máscaras, a resposta dos pesquisadores da área têxtil à pandemia da doença do coronavírus 2019 (COVID-19) em termos de *design* de equipamentos de proteção individual também foi rápida. As empresas têxteis procuram cada vez mais utilizar a nanotecnologia e nanomateriais específicos na busca de novas soluções para combater o desafio da pandemia. Nanofibras e nanopartículas têm sido incorporadas às máscaras respiratórias, conferindo propriedades antivirais, alta respirabilidade e capacidade de filtração (VALDIGLESIAS; LAFFON, 2020).

Além disso, outra forma de prevenção da doença são as vacinas. O rápido desenvolvimento de vacinas contra a COVID-19 representou um avanço extremamente importante na ciência e na saúde pública, e criou esperanças ao combate da pandemia. Destaque para a vacina *Pfizer* (Comirnaty), produzida a partir de RNA mensageiro (mRNA) de cadeia simples embebido em nanopartículas lipídicas, com estrutura 5-cap altamente purificada, onde sua produção é realizada usando transcrição *in vitro* sem células por meio de modelos de DNA correspondentes, na qual codificam a proteína *spike* do vírus responsável pela síndrome respiratória aguda grave 2 (OMS).

#### **4.1. COMO MELHORAR O DESEMPENHO DAS MÁSCARAS UTILIZANDO NANOTECNOLOGIA?**

Por mais que os modelos já existentes de máscaras e respiradores atendam às necessidades dos usuários em relação a proteção frente a patógenos transportados pelo ar, ainda existem pesquisas que visam melhorar as propriedades e o desempenho de filtração, assim como facilitar o uso e o conforto desses EPIs (CHUA et al., 2020).

Destacam-se os nanomateriais, por conseguirem modificar as propriedades físicas, a fim de melhorar o desempenho das máscaras. Os nanomateriais quando integrados a produtos têxteis, conseguem melhorar a

eficiência de filtragem, devido à redução do diâmetro da fibra em nanoescala, para conseqüentemente melhorar a eficiência de remoção de material particulado. Além disso, podem afetar de forma direta a viabilidade dos vírus e bactérias que ficam em contato com a máscara (PALMIERI et al., 2021). Na composição dos nanocarreadores podemos encontrar fibras, metais, polímeros naturais ou sintéticos, lipídeos e fosfolipídios (KAYSER; LEMKE; HERNÁNDEZ-TREJO, 2005).

As nanofibras têm chamado a atenção dos pesquisadores por apresentarem características micro e nanoestruturadas que facilitam o desenvolvimento de novos materiais. As nanofibras apresentam diferenças importantes em relação a fibras regulares quando se fala nas propriedades mecânicas e térmicas (RENEKER; CHUN, 1996). Elas também se destacam por terem alta área de superfície, pequenos tamanhos de poro e a possibilidade de produção de estruturas tridimensionais, o que conseqüentemente faz com que aumente o interesse por esse nanomaterial (RAMASESHAN et al., 2006). Além disso, nas fibras nanométricas podem ser adicionados outros compostos com propriedades antivirais e antibacterianas, o que ajudaria na desativação de contaminantes, reduzindo o risco de inalação de patógenos (CAMPOS et al., 2020).

Em relação aos têxteis de proteção, são mencionadas as máscaras faciais que apresentam porosidade e área superficial, o que é fundamental para determinar sua respirabilidade e filtração. Portanto, para superar essas duas propriedades concorrentes, é necessário ter ideias de *design* a fim de conseguir equilibrar os poros na camada de filtração ativa, bem como a área de superfície das fibras que compõem o tecido. Assim, com o auxílio da eletrofiação, é possível produzir nanofibras com capacidade de controlar as duas propriedades citadas (SOLIMAN et al., 2011; KARAGOZ et al., 2021). A patente WO2014143039A1, destacou que o uso de nanofibras, por exemplo, pode reduzir a resistência à respiração e, assim, diminuir a **pressão** para ter maior e melhor conforto de uso, mas também para proteger contra pequenas partículas (MATTHEW CONLON, 2014). Outros trabalhos também têm sido desenvolvidos mostrando que o uso de nanofibras contendo nanopartículas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>), ouro (Au) e Grafeno permitiu o desenvolvimento de filtros altamente eficientes e com propriedades antimicrobianas (LEE; KO; HSUEH, 2019)

(BHATTACHARJEE et al., 2019). Além disso, um adesivo feito à base de nanofibras eletrotrofiadas (Maya/Technion-Israel Institute of Technology), foi desenvolvido para ser colocado no exterior de máscaras faciais, sendo criado com o objetivo de barrar partículas manométricas para aumentar a proteção do usuário, uma vez que evita que o vírus possa atingir a superfície da máscara.

Além disso, uma das propriedades físicas relevantes a serem modificadas, é o conforto térmico das máscaras faciais. O uso prolongado desses EPIs por profissionais da saúde torna o meio propício para a sobrevivência de microorganismos, devido as condições de calor e umidade (PALMIERI et al., 2021). Para contornar esse problema, as nanofibras de polietileno demonstraram que além da boa filtração de partículas, possuem um efeito de resfriamento (YANG et al., 2017a). A adição de uma camada de prata a esses nanomateriais também tem sido testada já que a prata apresenta efeitos antimicrobianos em máscaras cirúrgicas (KHARAGHANI et al., 2018; LI et al., 2006).

Outro tipo de nanomaterial bastante utilizado são as nanopartículas metálicas. Estes compostos de metal que têm atividades antimicrobianas, como a prata, que vem sendo amplamente aplicadas como forma de revestimento para dispositivos médicos (BURDUŞEL et al., 2018; DURÁN et al., 2010, 2016). Vários estudos relatam que as nanopartículas de prata (AgNPs) conferem propriedades antimicrobianas às máscaras, como o estudo de HIRAGOND e colaboradores (2018), que demonstrou que as máscaras embebidas em uma solução coloidal de AgNPs possuíam atividade antimicrobiana. Outro estudo realizou a avaliação preliminar de um revestimento composto de nanoclusters de prata/sílica, depositado em uma máscara facial FFP2, em relação ao efeito antiviral frente ao SARS-CoV-2. Nos seus resultados, os autores relatam que o revestimento apresenta efeito virucida, fornecendo maior segurança e eficiência para esse material (BALAGNA et al., 2020).

O grafeno e óxido de grafeno, também apresentam a capacidade de interagir e ligar-se em microorganismos, tornando possível a inativação destes. Logo, o grafeno oferece uma oportunidade de desenvolver têxteis projetados para o uso em EPIs (MAIO et al., 2020). Assim, se destacam os filmes de óxido de grafeno, que criam uma camada de barreira respirável em tecidos, tornando a permeação à água superior quando comparada a outras tecnologias. Além

disso, nanofibras eletrofiadas de quitosana juntamente com grafeno, também demonstraram ter a capacidade de adsorver o vírus, melhorando a remoção do mesmo, graças à sua carga positiva e hidrofobicidade (BAI et al., 2013).

As nanopartículas de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) também têm sido utilizada em têxteis por fornecer propriedades antimicrobianas, devido sua atividade catalítica (BOZZI; YURANOVA; KIWI, 2005; DAOUD; XIN, 2004). Além disso, essa atividade pode ser melhorada criando nanocompósitos de dióxido de titânio/ dióxido de silício ( $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ) para serem aplicados em tecidos de algodão, apresentando atividade de autolimpeza (QI et al., 2007). Nesse mesmo contexto, cita-se as NP de óxido de zinco ( $\text{ZnO}$ ), que agem da mesma forma que o  $\text{TiO}_2$ , produzindo atividade antimicrobiana (WANG et al., 2004).

Além disso, os nanocarreadores lipídicos e poliméricos também podem ser utilizados. Estes nanocarreadores podem encapsular substâncias ativas, óleos essenciais, entre outros, que possuam propriedades antivirais e antibacterianas ajudando a eliminar os patógenos que entrarem em contato com as máscaras (KAUR et al., 2020).

No estudo de Passaglia e colaboradores (2021) foi avaliado o papel de compostos naturais, como chá verde, folhas de oliveira e brotos de cravinho, que podem ser usadas para melhorar o efeito da barreira de máscaras faciais, (PASSAGLIA et al., 2021). Outros estudos também indicam que fotossensibilizantes como a curcumina, se conjugados a nanopartículas inorgânicas como sílica, Au e  $\text{TiO}_2$ , podem eliminar bactérias e vírus fotodinamicamente, ou seja, quando os nanomateriais são expostos à luz, isso por que conseguem danificar membranas proteicas e ácidos nucleicos através da geração de radicais livres (PALMIERI et al., 2021; RUIZ-HITZKY et al., 2020; WEISS et al., 2020).

Apesar de todo o potencial que os nanomateriais apresentam em relação ao uso em EPIs, deve-se tomar cuidado ao usar esses materiais, especialmente no caso de metais. Desta forma, deve-se avaliar os efeitos adversos ou tóxicos em humanos (CAMPOS et al., 2020).

## **4.2 TOXICIDADE DOS NANOMATERIAIS**

A caracterização das NPs torna-se essencial para compreender a reatividade dos nanomateriais ao contato com o organismo, sendo indispensável

para um melhor entendimento da toxicidade desses materiais (IVERSEN; SKOTLAND; SANDVIG, 2011; SOENEN et al., 2011). A nanosseguurança é uma preocupação em constante crescimento, e isso se deve à exposição a nanomateriais que, conseqüentemente, reflete nos efeitos à saúde e ao meio ambiente (JOHNSTON et al., 2020; SALEEM; ZAIDI, 2020). No entanto, essas avaliações não são simples, pois há uma infinidade de fatores que podem atuar isoladamente ou em conjunto, como no caso da composição química, pureza, tamanho hidrodinâmico, morfologia, heterogeneidade de tamanho (JIANG et al., 2008; NEL et al., 2009)

Na atual pandemia de COVID-19, a nanotecnologia foi destacada por suas diversas vantagens, mas ainda existem testes relacionados à segurança de seu uso. Hashempour e colaboradores (2019) destacam que os produtos nanotecnológicos integrados as máscaras faciais, devem ser testados dermatologicamente, uma vez que entram em contato direto com a pele facial. Como esse tipo de equipamento de proteção é hermeticamente fechado e utilizado por tempo prolongado, há a necessidade de atenção para questões dermatológicas (LI et al., 2021b). Logo aponta-se o uso de materiais mais toleráveis à pele, levando em consideração as mudanças da pele que surgem da transpiração (HUANG et al., 2020).

Dentre as várias possibilidades de nanomateriais, estudos indicam que as NP de dióxido de titânio de tamanho de 1 a 150 nm, não penetram as camadas externas da pele, seja em pele saudável ou comprometida (DRÉNO et al., 2019; LUO et al., 2020). No entanto, quando este nanomaterial foi submetido a um experimento por um período de 48 horas, em peixe-zebra, a longa exposição apresentou alterações encontradas na expressão gênica, gerando diferentes respostas biológicas (GRIFFITT et al., 2009; JACOBS; VAN DE POEL; OSSEWEIJER, 2010).

Hadrup e colaboradores (2020), também destacam que as nanopartículas podem atingir os pulmões se não possuírem uma força de ligação adequada ao material da máscara facial. O autor destaca que os prováveis efeitos agudos que ocorrem em humanos, no caso da inalação de, por exemplo, NPs de prata (AgNPs), incluem situações de aumento da frequência cardíaca, bem como diminuição da pressão parcial de oxigênio e insuficiência pulmonar. As NPs de cobre também podem ter efeitos tóxicos não só na saúde, mas também para o

meio ambiente, afetando espécies marinhas como peixes e lagostins (ADAMCAKOVA-DODD et al., 2015).

A segurança dos novos produtos devem ser avaliada através de ensaios pré-clínicos de fotossensibilização, sensibilidade cutânea e irritação cutânea, conforme exigido pela ANVISA (RDC nº 7, de 10 de fevereiro de 2015).

O ensaio de fototoxicidade *in vitro* é realizado conforme descrito no guia da OECD (Guideline for Testing of Chemicals) nº 432 utilizando linhagem celular de fibroblastos de camundongos, Balb/c 3T3 (American Type Culture Collection, ATCC). O teste é baseado na comparação da citotoxicidade da substância teste na presença e na ausência de uma concentração não citotóxica de radiação solar. O teste de irritação cutânea tópica *in vitro* é realizado em epiderme humana reconstruída (EHR), conforme descrito no Guia da OECD nº 439. As substâncias teste são aplicadas topicamente em um modelo tridimensional de EHR por um período de 15 a 60 minutos e a temperatura de incubação é fixada entre 20 e 37 °C. Ao final do tratamento é avaliada a viabilidade celular, através do ensaio do MTT (brometo de 3-(4,5-dimetil-tiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio). Já o ensaio de sensibilização cutânea é conduzido de acordo com o Guia da OECD nº 442A. Os testes são realizados em camundongos e as formulações são aplicadas em diferentes doses por 8 dias na orelha dos animais. Neste caso, é avaliado o eritema, a espessura da orelha e os linfonodos auriculares. Substâncias sensibilizadoras induzem a proliferação de linfócitos nos linfonodos.

Outro teste interessante é a avaliação da permeação/retenção de compostos em pele suína utilizando células de difusão do tipo Franz. Essa ferramenta avalia o comportamento de formulações e sua capacidade de penetrar na pele pois a pele suína demonstra ter similaridades com a pele humana em termos de morfologia, permeabilidade, espessura e composição lipídica (GODIN; TOUITOU, 2007; MEIRA et al., 2020). Além disso, a técnica de bioimpressão também pode ser utilizada uma vez que permite formular estruturas 3D complexas e carregadas de células que se assemelham intimamente aos tecidos vivos originais, como a pele e os alvéolos pulmonares (MATAI et al., 2020).

De acordo com os dados da ANVISA para liberação do uso de máscaras faciais e respiradores são necessários os testes já citados no tópico 3.2.2 relacionado “métodos para testar equipamentos de proteção individual”, como o

Eficiência de filtração de partículas (PFE), Eficiência de filtração bacteriana (BFE), Eficiência de filtração viral (VFE), Teste de ajuste facial, e pressão diferencial (Delta-P). Logo para cosméticos são realizados os ensaios pré-clínicos de fotossensibilização, como sensibilidade cutânea e irritação cutânea, assim, acredita-se que por se tratar de uma máscara que está em contato direto com a pele e tem um material nanotecnológico podendo apresentar certa toxicidade, os dois testes deveriam ser preconizado pela ANVISA para garantir a segurança do uso desse EPI.

Por fim, destaca-se a importância de se ter o controle adequado e preciso sobre a liberação desses nanomateriais dos produtos em que são aplicados, além de orientar os usuários sobre a correta utilização, lavagem e descarte dos mesmos, garantindo que os usuários tenham sua própria proteção e protejam também o meio ambiente (WEST et al., 2020).

#### **4.3 PRODUTOS NO MERCADO**

Atualmente, a empresa suíça HEIQ desenvolveu uma tecnologia utilizando a prata e lipossomas que tem demonstrado efeito antiviral. O material é adicionado no final do processo de fabricação têxtil. A tecnologia para a produção das máscaras consiste na utilização da prata, que atrai e inativa o vírus e de lipossomas. As partículas de sal de Ag já são amplamente conhecidas pelo seu poder inibidor do crescimento microbiológico. O efeito desinfetante dos íons de prata está baseado na interação entre enzimas e as proteínas da parede celulósica. Como um ímã, os íons de prata atraem os vírus que são estruturas carregadas com cargas opostas, e se ligam permanentemente aos grupos de enxofre, desta forma, o vírus é imobilizado e inativado. Os lipossomas tem a função de agir diretamente junto à camada protetora lipídica que envolve o vírus (vírus envelopado). A tecnologia desta vesícula ajuda a remover o colesterol contido na membrana que protege o vírus, o que acarreta na destruição da membrana e conseqüentemente o vírus. Dois testes antibacterianos foram realizados de acordo com AATCC147 para teste qualitativo para *S. Aureus*, além de um teste quantitativo para *S. Aureus* de acordo com ISO 20743, e um teste antiviral de acordo com ISO 18184 para vírus envelopado H3N2, ou H1N1 ou tipo coronavírus. HEIQ Virablock, garantiu eficácia de 99,99% em 30 min contra o vírus que causa COVID-19.

Os produtores ainda apontam que essa tecnologia já havia sido criada antes, mas acabou sendo arquivada, porém quando a pandemia do COVID-19 se espalhou, o processo de produção foi muito rápido, cerca de 3 meses. Além disso, afirmam ter realizado exames dermatológicos, tornando o produto confiável para uso na pele, garantindo seu uso em qualquer tipo de tecido médico protetor, ou em máscaras faciais, por exemplo (HEIQ MATERIALS AG). Essa tecnologia está sendo importada pela empresa brasileira Malwee, e aplicada em máscaras de algodão. A máscara é constituída por 3 camadas, sendo a camada protetora a mais externa; a segunda camada desempenha um papel aprimorado para a capacidade de filtragem da máscara e a proteção mais importante, na camada interna e mais próxima do rosto, conta com a tecnologia HEIQ, feita para aumentar a proteção, possuindo a inovadora combinação de sais de Ag com a tecnologia de lipossomas. Além disso, a marca destaca que a máscara segue os novos padrões recomendados pela OMS (MALWEE).

A empresa Nanox Tecnologia produziu um composto plasmônico contendo SiO<sub>2</sub>-Ag imobilizado em matriz polimérica, ou seja, AgNP ancorado em SiO<sub>2</sub>, que apresenta alta atividade bacteriana e também para SARS-CoV-2 (ASSIS et al., 2021). A Nanox tem vários parceiros, entre eles este, a XIELD, que produz máscaras com dupla camada, contando com nanotecnologia antiviral, em tecido de poliéster e algodão. Entre as empresas parceiras está também a Delfim Protect, que utiliza a tecnologia Nanox em tecidos melhorando o desempenho antimicrobiano e repelente de líquidos. Os grupos de materiais Pocher também utilizam tecnologia para aplicação em máscaras faciais e DomTech, que produz conjuntos particulares e pijamas cirúrgicos para médicos e profissionais de saúde com nanotecnologia antiviral Nanox (DELFINPROTECT, 2020; DOMTECH, 2020; NANOX INTELLIGENT MATERIALS, 2020; PMG- POUCHER MATERIAL GROUP PORCHER DO BRASIL TECIDOS DE VIDRO LTDA, 2020; XIELD - TOVIESUR LTD, 2020).

Outro material foi desenvolvido pela empresa Golden Technology em parceria com o Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP) e o Instituto de Ciências Biomédicas (ICB-mnUSP) e mostrou efeitos à frente da inativação do coronavírus em máscaras cirúrgicas por tempo prolongado. Conhecida de Phitta Mask, essa máscara pode ser compradas em farmácias. Um dos diferenciais da máscara é que pode ser usada por mais tempo em

comparação as máscaras faciais cirúrgicas comuns; o produto é recoberto por uma substância nanométrica que torna reativo o oxigênio ao entrar em contato com o tecido, de forma a eliminar o coronavírus. A empresa afirma que o material utilizado é mantido em segredo devido ao pedido de patente, mas que tal material irá interagir com o oxigênio presente no ar, tornando-o mais reativo, assim quando o vírus entrar em contato com o material, ele conseqüentemente é inativado. Os pesquisadores ainda afirmam que acontece uma produção contínua de pequenas quantidades de um oxidante, tornando isto um diferencial, pois utiliza-se uma substância que já existe de forma natural diminuindo as chances de toxicidade. O destaque deste EPI está que o efeito antiviral e a eficiência de filtração bacteriana permanecem durante 12 horas, enquanto a máscara facial cirúrgica deve ser trocada constantemente a cada 2 horas aproximadamente.

Além disso, eles relatam que as máscaras foram testadas em pacientes infectados por SARS-CoV-2 no Hospital de Clínicas de São Paulo, onde se comparou com pacientes que utilizaram as máscaras comuns pelo tempo limite de duas horas e depois utilizaram as máscaras com ativos por duas horas. Foi visto o efeito antiviral de quase 100% em máscaras cirúrgicas com ativo, porém esse mesmo efeito não aconteceu nesta mesma eficiência em máscaras N95, e isso se deve a baixa adesão do material viral neste tipo de máscara. Destaca-se que os produtores estudam a possibilidade de aplicar esse mesmo ativo em máscaras de tecido do tipo reutilizável, assim tendo-se a ideia de utilizar como um refil descartável dentro de uma máscara, aumentando o tempo de uso (PHITTA MASK, 2020; USP -UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO; ICB - INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS, 2020).

## ARTIGO 1

### **EPIs Nanotecnológicos:** Percepções de uma análise bibliométrica de publicações e patentes recentes e tendências de pesquisas

#### **Resumo**

No contexto da pandemia do COVID-19, sendo esta, uma doença altamente contagiosa, o uso de EPIs assume uma importância de destaque, tanto por profissionais da área da saúde como para comunidade em geral. Como a transmissão do vírus é feita por inalação ou contato direto com gotículas infectantes a utilização de EPIs, especialmente máscaras faciais, se tornou o “novo normal” das sociedades. No entanto, para melhorar o potencial de filtração e eliminação dos vírus, assim como a respirabilidade e o conforto das máscaras, muitos estudos têm sido feitos nessa área. Este trabalho avaliou artigos e patentes sobre o tema EPIs nanotecnológicos por meio de uma análise bibliométrica. Os dados foram coletados no período de 2016 a 2021 e foram extraídos de bases de dados como PubMed e Web Of Science, e analisados por meio de técnicas bibliométricas. Além disso, foi realizada uma análise de patentes para avaliar as invenções atuais relacionadas à máscara de proteção. Os resultados mostram que EUA produziram o maior número de publicações acadêmicas, relacionadas ao tema nanotecnologia e equipamentos de proteção individual, Índia e Brasil também se destacaram no número de publicações. Entre os nanomateriais mais abordados para a associação em EPIs, esteve as nanopartículas metálicas e nanofibras, destaque para as nanopartículas de prata. Além disso, através dos resultados, destacou-se o aumento de publicações referente ao tema nos últimos anos, e acredita-se que o crescimento ainda será contínuo com o passar dos anos, em virtude da prevenção da atual e de futuras pandemias.

Palavras-chave: nanotecnologia; EPIs; máscaras faciais; antivirais;

## Introdução

A nanotecnologia (NT) está se destacando por ser aplicada em vários setores e em diversos campos científicos, apresentando crescimento constante nos últimos tempos (KOSTARELOS, 2020). Friedrichs, S. e B. Van Beuzekom (2018), definem a nanotecnologia como a compreensão de processos e fenômenos, bem como, a aplicação da ciência e tecnologia a organismos, materiais orgânicos e inorgânicos, utilizando sua escala nanométrica, para que seja utilizada em novas aplicações (FRIEDRICHS, S. AND B. VAN BEUZEKOM, 2018) .

Estudos relacionados a utilização de nanomateriais em tecidos têm aumentado muito nos últimos anos, isso se deve ao fato desses materiais possuírem propriedades únicas, como tamanho reduzido, multifuncionalidade e solubilidade adequada, características que conseqüentemente melhorariam a eficiência de têxteis, tornando-os mais eficazes e seguros (FORNAGUERA; GARCÍA-CELMA, 2017; SOARES et al., 2018; YETISEN et al., 2016). O estudo de Chua e colaboradores (2020) revisa o uso da NT para incorporação em vestimentas de proteção, a exemplos dos EPIs, uma vez que a NT pode conferir novas características aos tecidos utilizados. Além disso, outros autores relatam que a aplicação de nanomateriais em tecidos aumenta a eficiência de filtração, no entanto, pode aumentar o custo de fabricação (DE ARAÚJO ANDRADE et al., 2021). Porém, com as necessidades da atual pandemia de COVID-19, o custo da aplicação dessa tecnologia pode não se tornar um fator crucial, uma vez que a nanotecnologia pode ser eficaz na proteção e prevenção contra SARS-CoV-2 (BALACHANDAR et al., 2020).

Este trabalho avaliou artigos e patentes sobre o tema EPIs nanotecnológicos por meio de uma análise bibliométrica. A análise bibliométrica é uma técnica analítica eficaz para o uso de pesquisas atuais, a bibliometria consegue analisar a estrutura, fontes e propriedades de um tema, avaliando a frequência e as conexões escalares na literatura (VAN NUNEN et al., 2018). Além disso, através da análise bibliométrica é possível identificar os pontos fracos e fortes no desenvolvimento de tópicos, organizar, analisar e explorar dados, para identificar formas que possam auxiliar pesquisadores na tomada de decisões, na determinação de autores, países e organizações mais confiáveis em um tema específico (DAIM et al., 2006; MAO et al., 2018).

Logo, o principal objetivo da análise foi verificar os nanomateriais utilizados para o desenvolvimento dos EPIs, os países que mais contribuíram para a pesquisa, além das universidades e pesquisadores e as revistas que estão tratando do tema. Essas informações são importantes uma vez que podem ser utilizadas como base para estudos futuros de desenvolvimento de EPIs Nanotecnológicos de origem nacional.

## **Metodologia**

A coleta de informações para a realização da análise bibliométrica das publicações foram feitas através dos bancos de dados PubMed e Web of Science (WOS). No presente estudo foi realizada uma consulta com os descritores “Nanotechnology” AND “Personal Protective Equipment”. Como esse tema começou a tornar-se relevante após dois ou mais anos, a consulta foi mais limitada à pesquisa de artigos que foram publicados no período de 2016 a 2021. Todos os registros pertinentes à pesquisa foram incluídos no estudo. Os documentos que não correspondiam aos descritores, foram excluídos.

Os dados selecionados e relevantes para o estudo foram extraídos nos seguintes tópicos: I- quantidade de documentos publicados no período de 2016-2021; II- principais países com maior número de documentos tratando da relação entre nanotecnologia e EPI; III- principais institutos com maior número de pesquisas relacionadas ao tema; IV- principais autores e suas coautorias; V- as revistas que mais publicaram o tema escolhido; VI- as principais palavras-chave utilizadas nos documentos publicados; VII – os tipos de nanomateriais mais encontrados para produção dos EPIs.

Os documentos foram tratados com o auxílio do software EndNote 20, para que primeiramente fossem eliminadas as duplicatas presentes no conjunto de dados e posteriormente realizado o refinamento dos dados e a integração do banco de dados das diferentes bases PubMed e WOS. Através do software foi possível exportar dados descritivos sobre os documentos, para que assim fosse possível identificar parâmetros como quantidade de artigos publicados por ano, quantidade de artigos por autores e periódicos com mais artigos publicados.

Em relação à extração de dados, estes foram baixados em formato MEDLINE no banco de dados PubMed, enquanto pelo WOS os dados foram baixados no formato de delimitado por tabulação, a fim de identificar *links* de

citação, acoplamento bibliográfico e co-citação entre os itens. Os dados relativos ao número de publicações por país e tipos de nanomateriais mais encontrados, foram tabulados e visualizados no Microsoft Excel 2013.

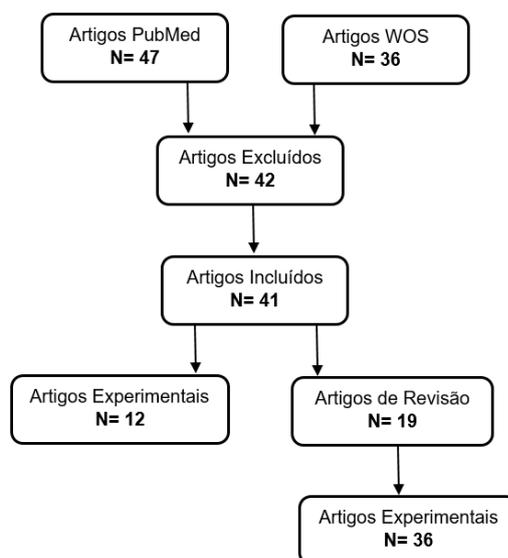
Tais dados foram importados e carregados no software VOSViewer versão 1.6.17, a fim de visualizar as tendências de publicação de organizações, autores e palavras-chaves, explorando mapas bibliométricos relacionados aos dados. O mapa bibliométrico criado por VOSViewer inclui itens, que são objetos de interesse, neste caso serão itens de organizações, palavras-chave e autores. Entre o par de itens pode haver um link (uma linha), que indica uma relação entre dois itens. Quanto mais próximas estiverem as linhas entre dois itens, mais forte o relacionamento entre eles. Os itens também podem ser agrupados em clusters, que refere-se a um conjunto de itens incluídos em um mapa. A cor de um item é determinada por padrão de cores que refere-se a pontuação dos itens, que irão variar de azul (pontuação menor) a verde e amarelo (maior pontuação), logo, a barra de cores indica como as pontuações são mapeadas.

A análise das patentes foi realizada através de duas base de patentes Espacenet e WIPO, sendo escolhidas aquelas depositadas entre 2016-2021. A pesquisa por patentes foi realizada com a combinação de descritores e com o código de Classificação Internacional de Patentes (IPC). Logo, a pesquisa foi realizada com os descritores “nanotechnology” OR “nanoparticle” OR “nanomaterial” AND “antivirals” OR “antibacterials” AND “A41D13/11”, os descritores foram colocados com limitações de título, resumo e reivindicações, e o código se refere a máscara faciais de proteção profissional, industrial e desportivo. As patentes foram visualizadas para coleta de dados e análise de documentos duplicados através do software Zotero.

## **Resultados e Discussão**

Em relação aos descritores “nanotechnology” AND “Personal Protective Equipment”, no período de 2016-2021, foram encontrados 83 artigos nas bases de dados pesquisadas, sendo 47 artigos encontrados no PubMed e 36 por WOS, porém, foram excluídos 42 artigos por motivos de repetição e temas que não atendiam os descritores. Logo, para essa pesquisa foi realizada a análise a partir de 41 artigos publicados em revistas acadêmicas, sendo incluídas artigos de pesquisas e revisões da literatura.

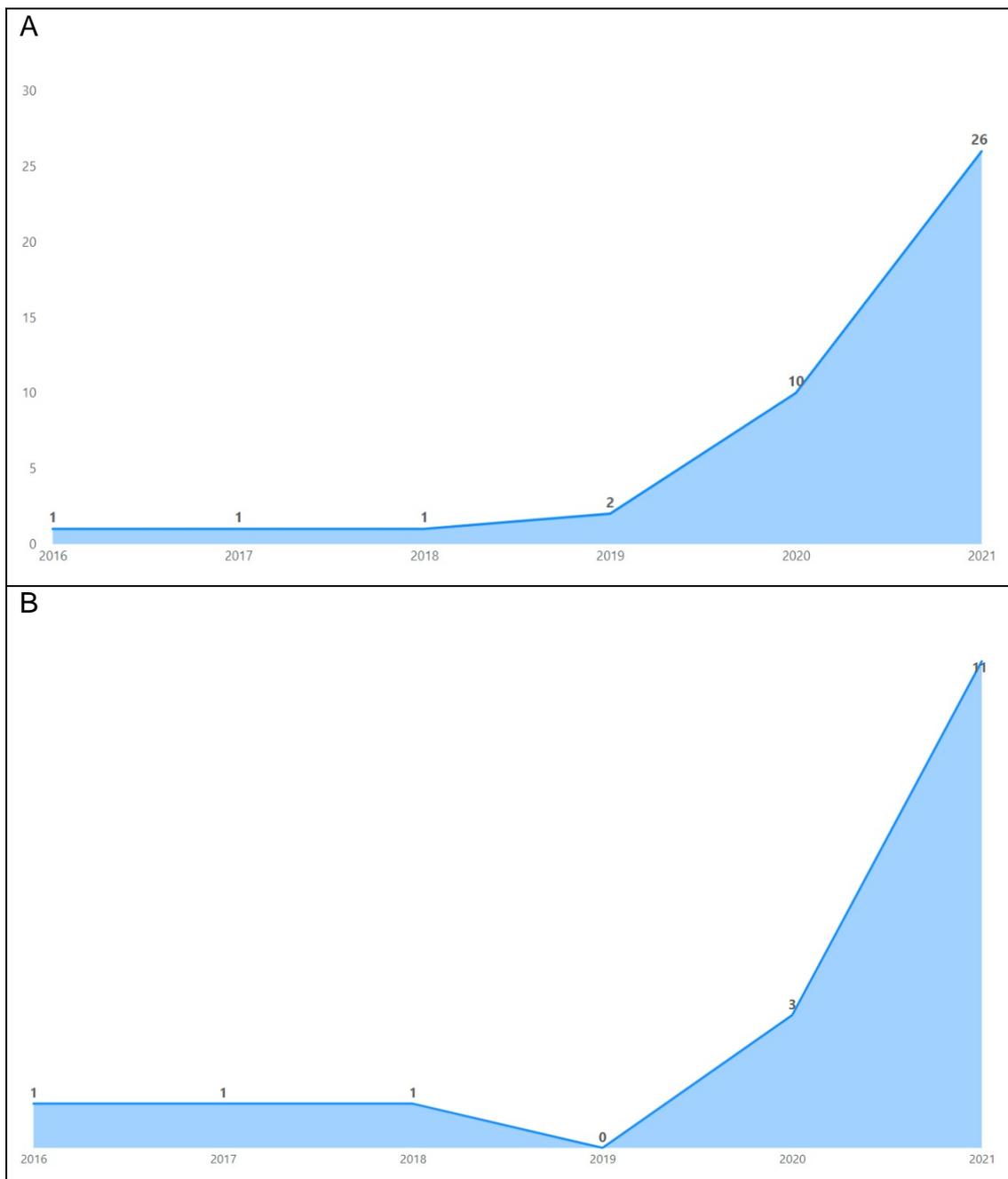
A partir dos artigos incluídos, foi contabilizado 12 artigos experimentais e 29 artigos de revisão da literatura, nestes foi realizado uma análise nas referências dos mesmos, para o encontro de trabalhos experimentais em relação à nanomateriais incorporados em equipamentos de proteção individual, logo encontrou-se 42 artigos de pesquisa publicados, como ilustra a figura 1.



**Figura 1.** Diagrama de fluxo relativo aos artigos presente na revisão.

Verificou-se que nos últimos anos houve uma tendência de aumento de artigos publicados relacionados a nanotecnologia e EPIs, principalmente entre os anos 2020 e 2021, com 10 e 26 artigos publicados respectivamente. Enquanto os anos 2016, 2017 e 2018 encontrou-se um artigo para cada ano em relação ao tema, como ilustra a figura 2.

Em relação à pesquisa de patentes, foi possível contabilizar 38 patentes encontradas pela avaliação preliminar em ambas bases de dados. Sendo que 10 eram duplicados e 11 foram excluídos, por não apresentar o tema da pesquisa. Como o código de ICP abrangia vários tipos de proteção facial, foram encontradas máscaras faciais na qual não correspondiam ao uso na saúde, além de não relatarem o uso de nanomateriais. Além disso pode-se observar que as patentes relacionadas ao tema, foram depositadas nos anos de 2020 e 2021, com 3 e 11 patentes, respectivamente (Figura 2).

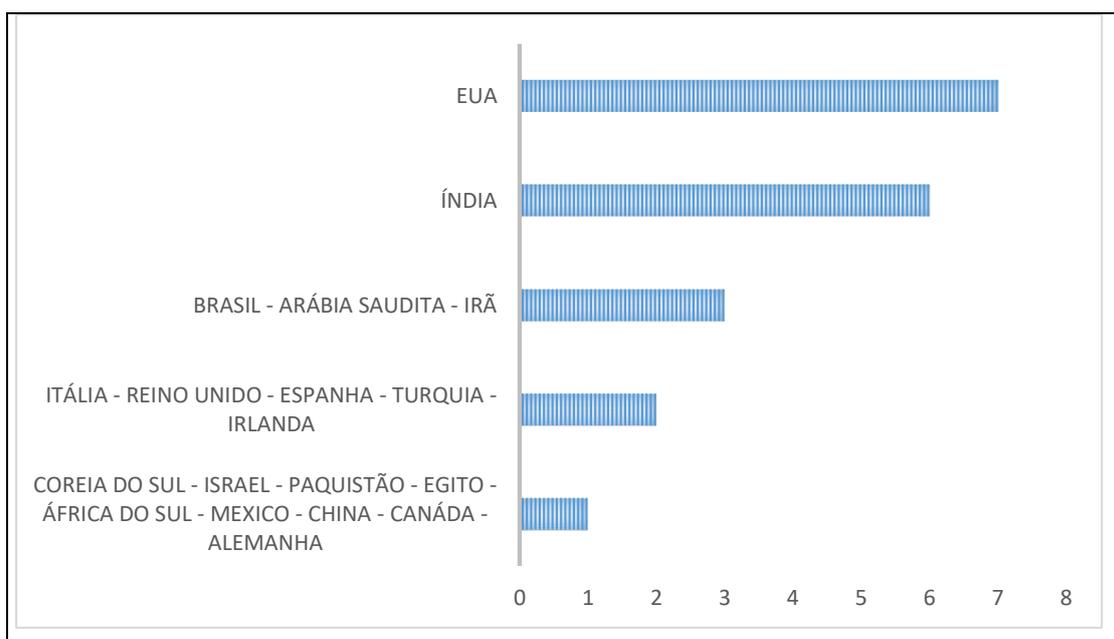


**Figura 2.** Tendência de publicação de artigos (A) e Patentes (B) na relação entre nanotecnologia e EPIs.

Ambos os casos (publicações e patentes) mostram uma tendência crescente em relação ao número de publicações por anos, sendo visível a diferença na comparação entre o ano 2016 e 2021. Acredita-se que isso aconteceu devido a atual pandemia da COVID-19, pelo aumento do uso de equipamentos de proteção individual (EPI) e pela busca por novas tecnologias que aprimorassem os EPIs, visando melhorar a eficiência e consequentemente a segurança do equipamento, uma vez que este se tornou uma das principais

intervenções não farmacológicas para a prevenção da doença (DE ARAÚJO ANDRADE et al., 2021; LEUNG et al., 2020).

De acordo com as publicações encontradas nas bases de dados relacionadas a nanotecnologia e equipamentos de proteção individual, os principais países foram identificados e são destacados na figura 3. Nota-se que os EUA tiveram mais publicações quando comparado com os demais países, com 7 artigos publicados no período de 2016-2021. Índia (6), Brasil (3) e Irã (3), se destacam ao aparecerem entre os países que mais publicaram nessa área. Os demais países, como Itália, Reino Unido, Espanha, Coreia, Alemanha, Canadá, tiveram entre duas e uma publicação.



**Figura 3.** Número de artigos publicados por países na área de nanotecnologia relacionada aos EPIs

Provavelmente, os EUA se destacam em publicações, devido à necessidade que o país apresentou durante a pandemia de COVID-19 devido à escassez de EPIs, o que consequentemente colocava em risco a população em geral, como pacientes e profissionais de saúde (GONDI et al., 2020). Além disso, os EUA tiveram um grande número de casos de contaminados, além de altos casos de óbitos por SARS-CoV-2 (CHOWELL; MIZUMOTO, 2020) É importante ressaltar que os EUA juntamente com a China são os países com mais produções científicas, sendo que os americanos até 2020 já tinham mais de 750 mil artigos publicados. Isso é resultado do investimento do país em pesquisas

científicas de modo geral, além dos EUA ser uma das potências econômicas e de política mundial (SABINE RIGHETTI, 2021).

Após os EUA, a Índia (com seis artigos publicados), o Brasil, o Irã e a Arábia Saudita (três artigos publicados por país) foram os países mais produtivos em relação ao tema. O Brasil que também passou por momentos difíceis relacionados à pandemia, com elevado número de casos ativos e óbitos, assim como a Índia, este fato pode ter motivado os pesquisadores na busca por novas tecnologias.

Diferente dos resultados obtidos para as publicações de artigos, observou-se que das 17 patentes incluídas na pesquisa, 8 delas foram realizadas por inventores chineses, 1 patente realizada nos Estados Unidos e outra na Coreia do Sul. De acordo com *World Intellectual Property Organization* (WIPO), a China, mesmo diante de uma pandemia global, se manteve no topo dos principais países depositantes de pedidos de patentes, seguida por EUA e Coreia do Sul (Tabela 1). Em junho de 2021, uma nova Lei de Patentes foi proposta aos chineses. As mudanças na legislação são reflexo da quarta emenda à Lei de Patentes de 1984 e têm como objetivo: fortalecer e dar maior importância ao sistema de propriedade intelectual no país; otimizar a aplicação dos direitos patentários; e promover a utilização de patentes, bem como a comercialização de invenções. Embora a pandemia causada pelo vírus Sars-CoV-2 tenha impactado diversos setores em escala mundial, são evidentes os avanços chineses nesse período, no que tange os direitos de propriedade intelectual. De acordo com uma recente publicação da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), a China segue no topo da lista dos maiores depositantes de pedidos de patente internacionais, via Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT), e depositou 68.720 novos pedidos de patente em 2020. Tal número representa um aumento de 16,1% de novos depósitos comparado ao ano anterior. No mesmo período, o Brasil depositou 697 novos pedidos de patente via PCT, o que corresponde a um aumento de 8,4% no volume brasileiro de depósitos. Isto demonstra os esforços do governo chinês para estimular ainda mais a inovação nacional (WIPO- WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION, 2021).

Após a análise dos países mais produtivos em publicações e patentes, demonstramos, na Figura 3, um mapa da análise das organizações dos autores

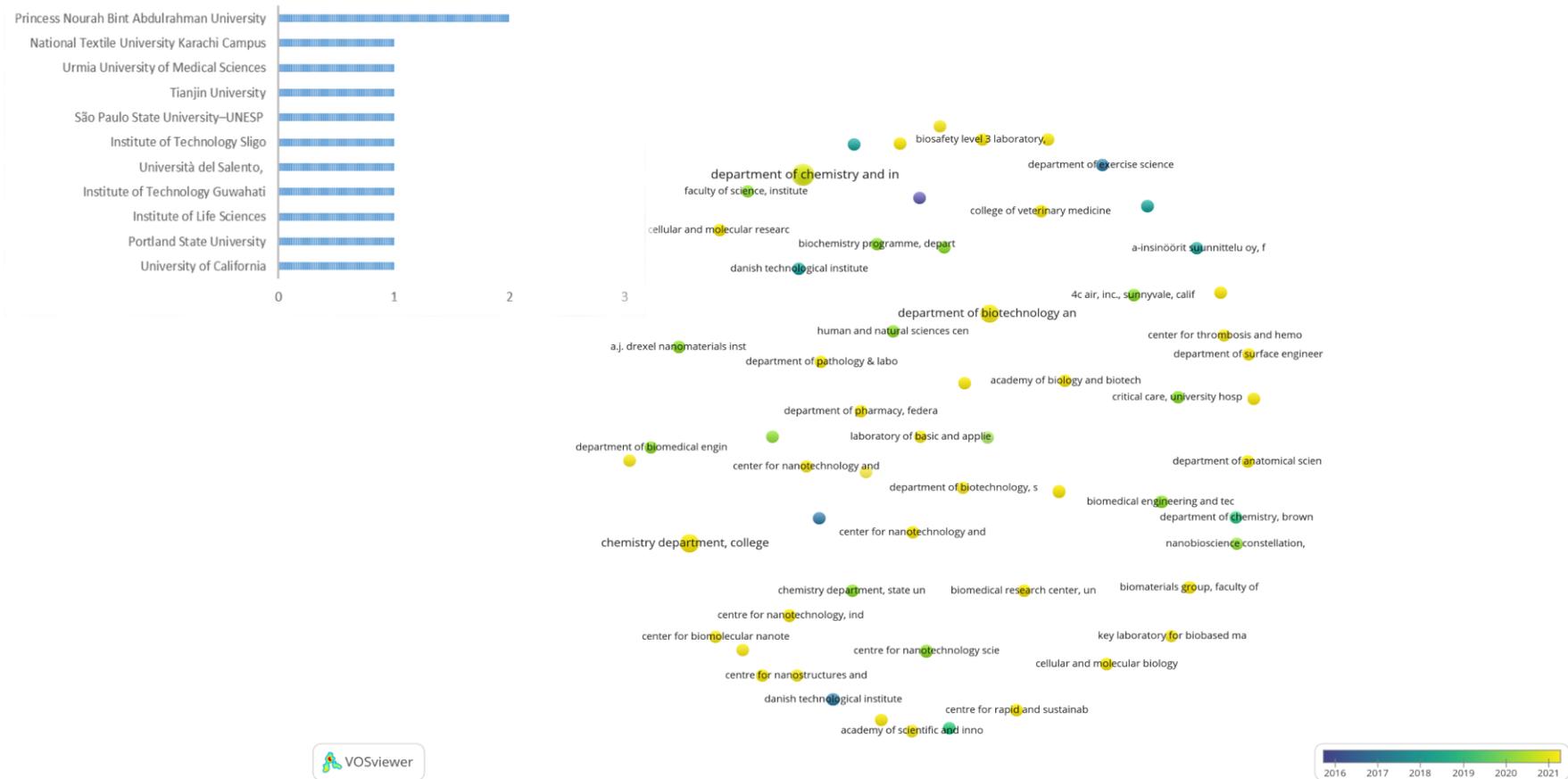
das publicações obtidos através das bases de dados WOS e PubMed, realizada pelo software VOSViewer. Através deste software é criado mapas bibliométricos compostos por elementos de análise, como primeiramente os itens, que são objetos de interesse na pesquisa. A cada par de itens pode haver a formação um link (demonstrado por uma linha), que indica uma relação entre dois itens. Os itens também podem ser agrupados em conjuntos, denominados clusters. Um item apresenta coloração padronizada pelo autor, referente a pontuação que o item apresenta, como demonstrado ao longo o estudo, que irão variar de azul (menor pontuação), verde (média pontuação) e verde (maior pontuação).

Então, selecionamos todas as organizações pertencentes nos documentos encontrados, para serem visualizados a partir de uma rede de sobreposição utilizando o software VosViewer. Verificou-se uma rede gerada com 818 *links*, referente a relação entre duas organizações. Contabilizou-se 40 clusters, contando com um conjunto de 212 itens inclusos no mapa. Além disso, através da barra de cores, foi possível avaliar a tendência de organizações que realizam a produção de pesquisas relacionadas a nanomateriais, logo a cor verde da rede representa que no de ano de 2020 e 2021 houve a maior parte de produções destas instituições relacionadas ao tema. Também destaca-se que ao estratificar ainda mais a rede de organizações, observou-se que as instituições americanas tiveram maior destaque durante o período de estudo (2020-2021), corroborando com os dados anteriormente demonstrados.

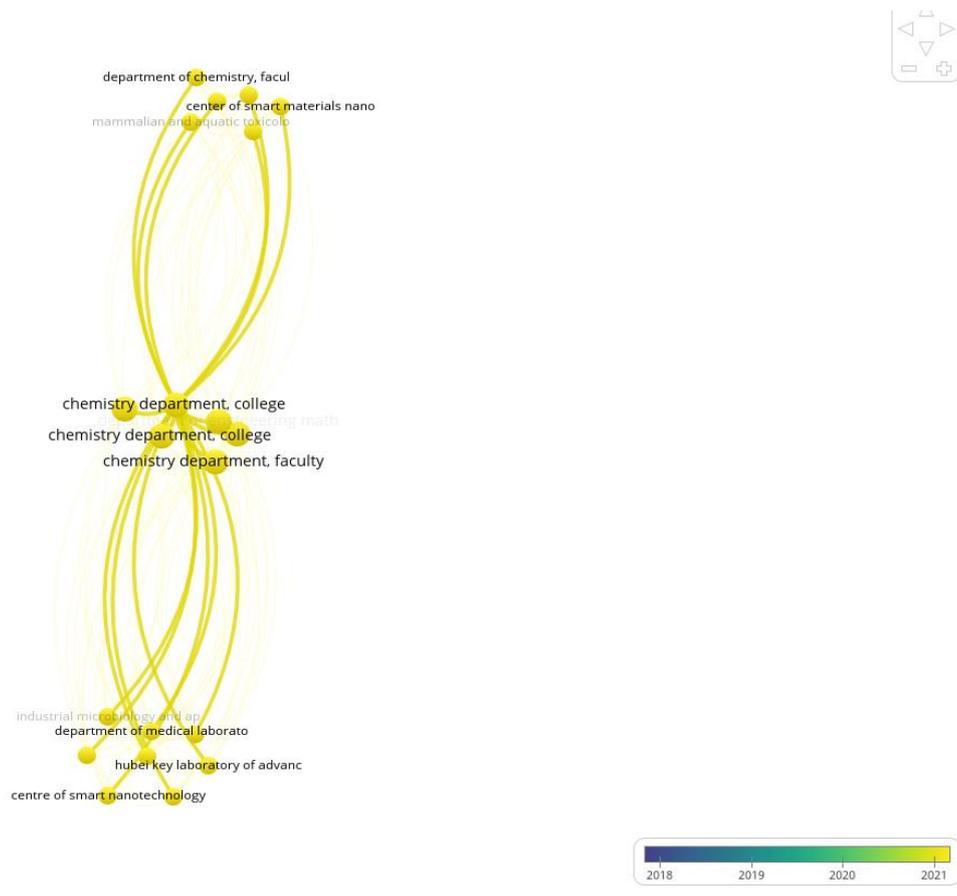
<b>NANOMATERIAL</b>	<b>PRODUTO</b>	<b>APLICAÇÃO</b>	<b>PAÍS</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>
<b>Nanopartículas de Prata</b>	Mascaras transparentes	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	China	(Chen Guangchuan, 2020)
<b>Nanofiltros</b>	Equipamentos de proteção individual e de saúde	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	Grécia	(Logothetis, Stergios; Karagkiozaki, Varvara; Orfanos, Alexandro, 2021)
<b>Nanopartículas de Cloreto de Sódio, Cloreto de Magnésio, Cloreto de Cálcio, Cloreto de Potássio</b>	Máscaras faciais	Oferecer propriedade antibacterianas e antiviral	Coréia do Sul	(Byeon Jeong Hoon, 2021)
<b>Grafeno</b>	Máscaras faciais	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	China	(Liu Mingjiang, 2020)
<b>Nanopartículas poliméricas de óleo zedoário</b>	Máscara antibacteriana e ecológica	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	China	(Tang Haozhe; Luo Shimei, 2018)
<b>Nanopartículas de Prata, Óxido de Zinco, Óxido de Cobre</b>	Máscara de proteção médica	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	China	(Fan Jiaona; Fan Lina, 2021)
<b>Nanofibras</b>	Máscaras de gaze	Aumentar a filtração de partículas	China	(Lin Tong et al., 2017)
<b>Nanopartículas com Dióxido de Titânio e Quitosana</b>	Máscara antiviral descartável	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	China	(Wang Yong et al., 2021)
<b>Grafeno ou Nanopartículas de Óxido de grafeno</b>	Têxteis e Máscaras Faciais	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	Reino Unido	(Sandy Chen; Stephen Devine, 2021)
<b>Nanodiamantes</b>	Camada para máscara de proteção	Aumentar a filtração de partículas; Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	China	(Yiu, Yau Chuen et al., 2021)

<b>Grafeno em forma de flor</b>	Têxteis e máscaras faciais	Aumentar a filtração de partículas; Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	China	(Hao Sijia et al., 2021)
<b>Nanoplaquetas de Grafeno</b>	Têxteis	Aumentar a filtração de partículas; Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	Itália	(CESAREO, GIULIO GIUSEPPE, 2021a)
<b>Grafeno</b>	Têxteis e máscaras faciais	Aumentar a filtração de partículas; Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	Itália	(CESAREO, GIULIO GIUSEPPE, 2021b)
<b>Nanofibras</b>	Máscaras faciais e/ou respirador	Aumentar a filtração de partículas; Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	Arábia Saudita	(HASAN, SHADI WAJIH, 2021)
<b>Nanopartículas metálicas</b>	Máscaras faciais	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	Turquia	(KAYA, CENGIZ et al., 2016)
<b>Nanopartículas de Dióxido de Titânio, Óxido de Zinco, Carbonato de Cálcio e Óxido de Magnésio</b>	Máscaras faciais	Aumentar a filtração de partículas	Sri Lanka - Ásia	(RAJAPAKSE, GAMINI; THILAKARATHNE, NIRODHA; ABEYSOORIYA, NAMAL, 2021)
<b>Nanopartículas de Ouro e/ou Prata</b>	Têxteis	Oferecer propriedades antibacterianas e antiviral	EUA	(UDDIN, MOHAMMED JASIM; MOORE, H.JUSTIN, 2020)

Além disso, o maior volume de pesquisa foi realizada pela instituição *Princess Nourah Bint Abdulrahman University*, da Arábia Saudita, como ilustra a figura 4A, sendo a maior universidade pública feminina do mundo. Colaborando com duas publicações do grupo de departamento de química da universidade. A partir desse grupo de pesquisa, conseguiu-se avaliar através do mapa de rede do software VosViewer, a relação com outros departamentos de pesquisas da mesma ou de outras universidades.



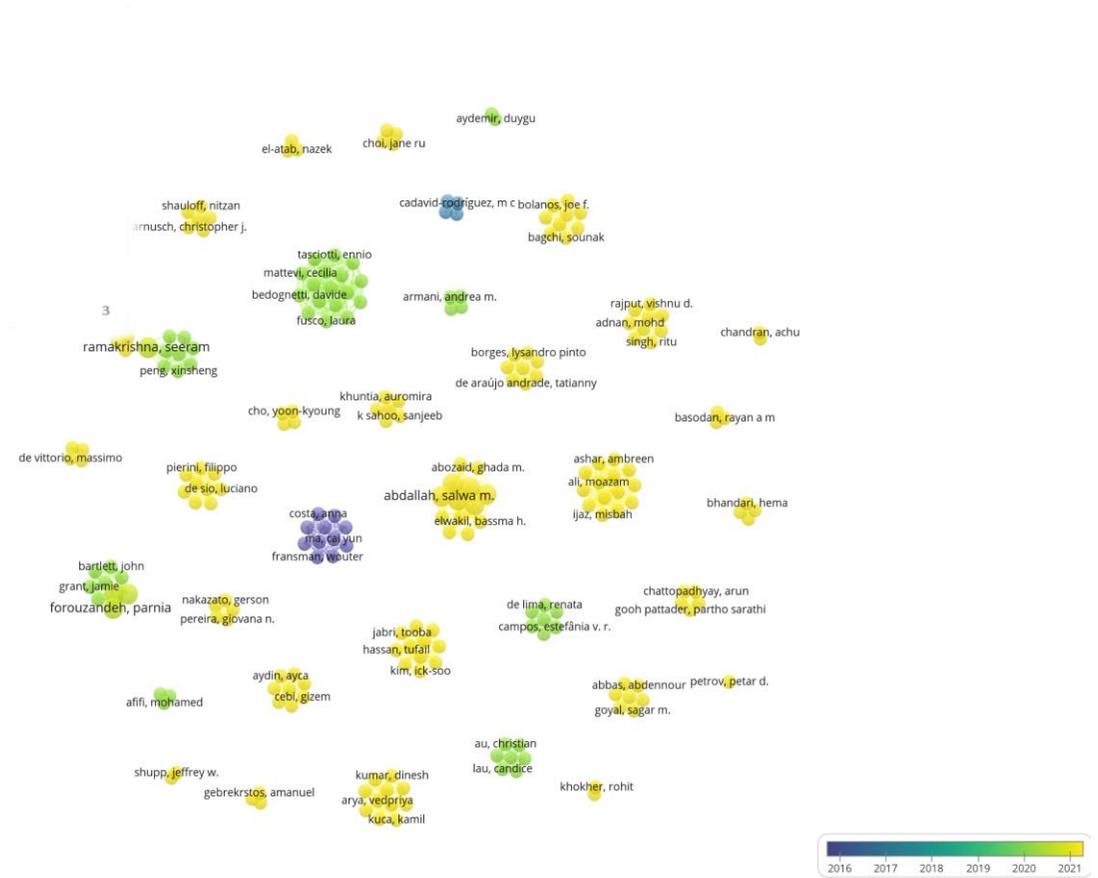
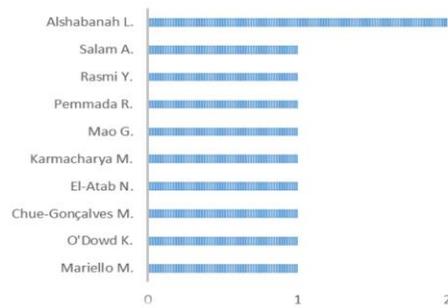
**Figura 4.** (A) Rede e gráfico de organizações que publicam e fazem pesquisas no campo da nanotecnologia no que diz respeito à produção de equipamentos de proteção individual



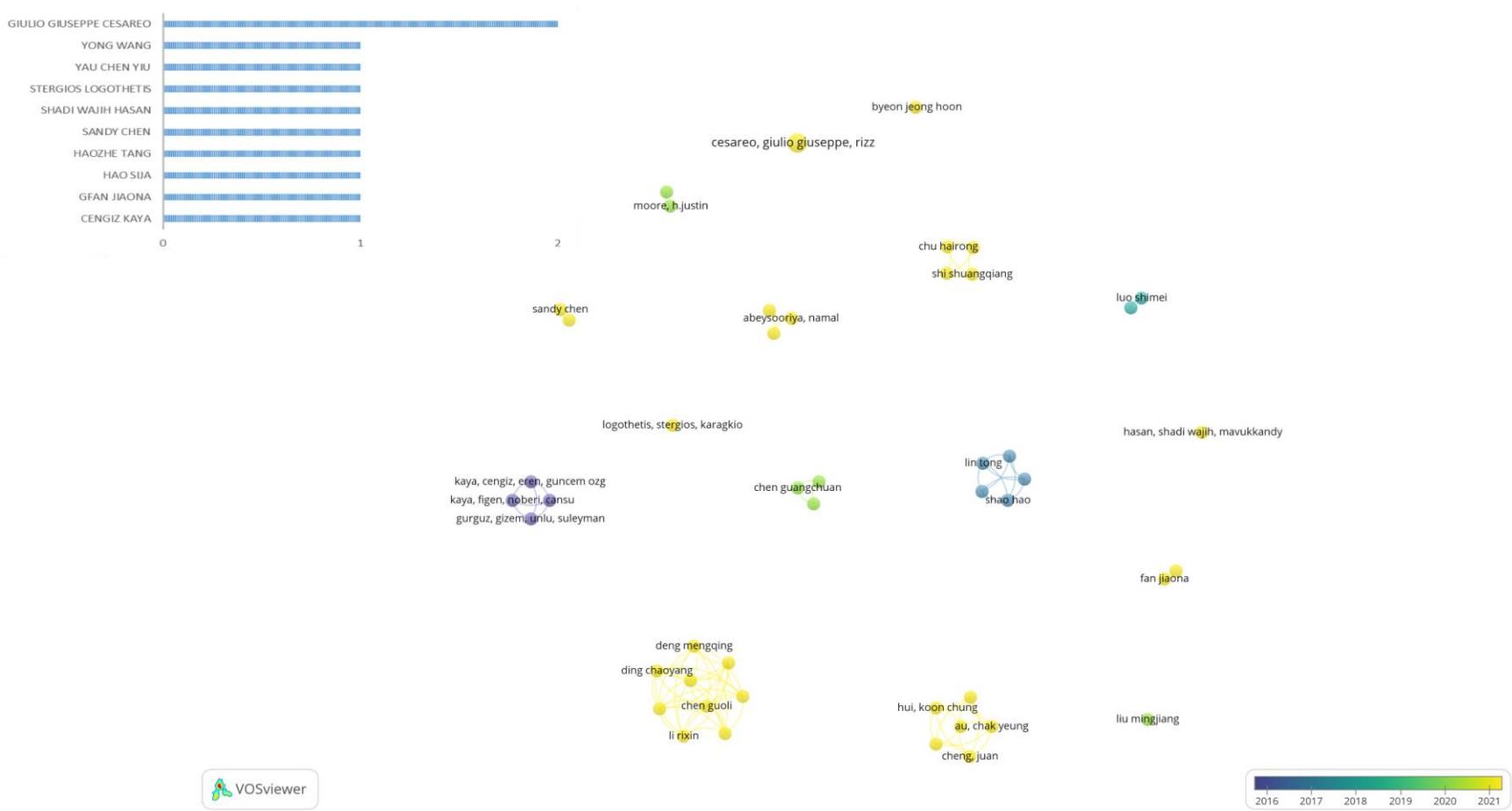
**Figura 4.** (B) Rede relacionada ao departamento de pesquisa. As cores representa as organizações que mais publicaram por ano.

Sendo visto 2 clusters com 19 links entre os departamentos, relacionando dois itens, ilustrado na figura 4B. Instituições americanas e indianas como a *University of California* e *Institute of Technology Guwahati*, respectivamente, também se destacaram em suas publicações, juntamente com outras universidades dos mesmo países. Instituições brasileiras como a UNESP, Universidade Federal de Londrina e Universidade Federal de Sergipe, também foram encontradas em relação à pesquisa de EPIs Nanotecnológicos.

Para avaliar os autores/inventores presentes nos artigos e patentes publicados por ano foi feito outro mapa de rede utilizando o software VOSViewer. No caso das publicações foi possível verificar a presença de 229 itens presentes em 35 clusters. Além disso, foram gerados 867 *links*, referente a conexão ou a relação entre dois autores, porém alguns dos *links* não estão conectados uns aos outros. Para as patentes observou-se a presença de 16 clusters, contendo um conjunto com 47 itens. Ainda foi possível verificar a geração de 83 *links*, relacionadas com a conexão entre dois inventores. Além disso, através da barra de cores, avaliou-se a tendência dos autores/inventores em realizar a produção de patentes relacionadas a nanomateriais e equipamentos de proteção, destacando-se as cores verdes e amarelas, mostrando um maior número em 2020 e 2021.



**Figura 5.** Rede de autores/inventores de artigos que publicam e fazem pesquisas no campo da nanotecnologia no que diz respeito à produção de equipamentos de proteção individual;

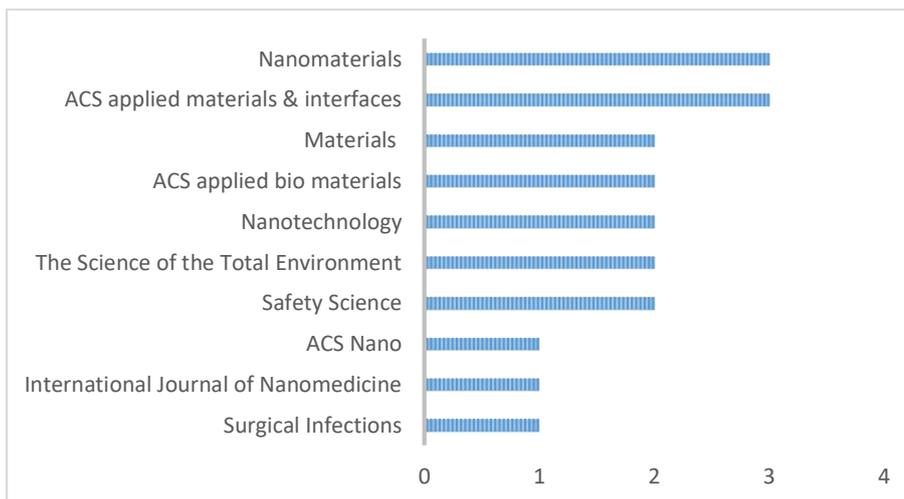


**Figura 5.** Rede de autores/inventores de patentes que publicam e fazem pesquisas no campo da nanotecnologia no que diz respeito à produção de equipamentos de proteção individual;

Através de um comparativo, notou-se que o número de autores de publicações é maior que o número de autores de patentes, isso se deve ao número de documentos encontrados nas pesquisas realizadas, visto que foram encontrados 41 artigos e 17 patentes. Um fato na qual se igualou em ambos os mapas (figura 5), foi a tendência de publicações e patentes nos últimos dois anos, principalmente, com uma grande tendência no ano de 2021. Como abordado acima, acredita-se que esses dados estejam relacionados diretamente ao atual momento pandêmico, além do abastecimento de equipamentos de proteção individual. Além disso, destaca-se que não foi encontrado um mesmo autor que tenha feito publicações de artigos e invenções de patentes nesta pesquisa.

Entre os autores que se destacaram podemos citar Parnia Forouzandeh, Kris O'Dowd e Suresh Pillai (2020), com 2 artigos publicados entre os dados analisados, estando presentes como autores e co-autores em uma mesma publicação. Ambos são colaboradores do mesmo grupo de pesquisa, *Nanotechnology and Bio-engineering Research Group*, pertencente ao Institute of Technology de Sligo, na Irlanda. O mesmo acontece com autores como L.Alshabanah, L.Mutabagani, S. Abdallah, N.Shehata, M.Hagar, A.Hassanin, mas diferente dos autores anteriores, estes fazem parte de grupos diferentes de pesquisa, assim como, de diferentes países, mas destaca que os autores principais pertenciam a Princess Nourah Bint Abdulrahman University, na Arábia Saudita.

Em relação as revistas que mais publicaram sobre o tema nanotecnologia e EPIs, encontramos os periódicos: "Nanomaterials", "ACS applied bio materials" como os que mais publicaram em ambos os bancos de dados dentro dos 31 periódicos encontrados, com 3 publicações durante o período de 5 anos (2016-2021). "Nanotechnology", "Materials", "ACS applied biomaterials", "Safety Science" e "The Science of the Total Environment" cada periódico publicou 2 artigos relacionados ao tema da pesquisa. Os demais periódicos tiveram uma publicação cada. Destaca-se que as revistas que mais publicaram dispõem de acesso livre aos leitores e pesquisadores, promovendo e facilitando o acesso a pesquisa.



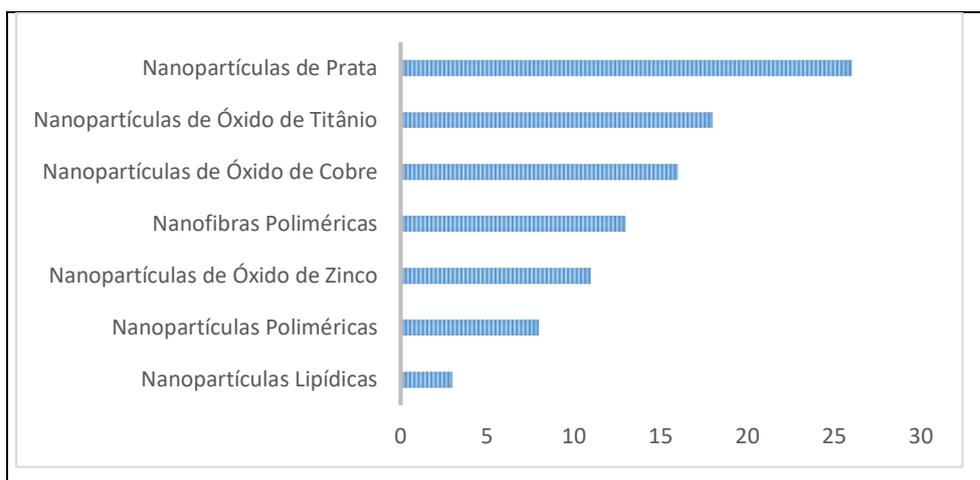
**Figura 6.** Número de artigos publicados por revistas na área de nanotecnologia relacionada aos EPIs

Na análise das palavras-chave, verificamos uma rede com 1358 links, ou seja, o número de conexões entre duas palavras-chave, com 14 clusters contendo 145 itens. Através da rede é possível verificar a distância das linhas relacionadas a força dos links e como pode ser observado na figura 7, verificou-se que houveram linhas mais curtas e mais longas demonstrando a distância dos links e a força da relação entre as palavras-chave. Assim, se nota maior distância entre as palavras-chave “covid-19” e “anti-infective agent”, tornando essa relação mais fraca, quando comparado com “covid-19” e “masks”, que apresentam-se próximos, demonstrando maior força de relação nos artigos publicados.

O tamanho do círculo do item no mapa também deve ser avaliado, uma vez que refere-se ao peso que aquele item possui na pesquisa, com isso, “covid-19”, “sars-cov-2”, “masks”, “nanotechnology” e “pandemics” se destacam em relação a relevância que os itens apresentam. Além disso, através da barra de cores, é possível avaliar a quantidade de palavras-chave utilizadas por ano. Assim, observou-se que nos anos 2020 e 2021, as palavras-chaves tornaram-se de maior relevância, ao contrário dos anos anteriores, que encontra-se em coloração azul, corroborando com o fato da pandemia ter acelerado a pesquisa por novas tecnologias para produção de EPIs.



TANG HAOZHE; LUO SHIMEI, 2018; WANG YONG et al., 2021; YIU, YAU CHUEN et al., 2021).



**Figura 8.** Principais tipos de nanomateriais presentes nos artigos.

Como forma de exemplificar algumas publicações e patentes, citaremos abaixo alguns trabalhos relacionado ao tema. Destaca-se o estudo de Balagna e colaboradores (2020) que realizou uma avaliação preliminar de um revestimento composto de nanoclusters de prata/sílica, depositado em uma máscara facial FFP3, em relação ao efeito antiviral frente ao SARS-CoV-2. Nos seus resultados, os autores relatam que o revestimento apresenta efeito virucida, reduzindo completamente a carga de SARS-CoV-2, fornecendo segurança e eficiência, aumentando a vida útil deste EPI. As nanofibras por apresentarem estruturas interconectadas de poros em nanoescala, áreas de superfície altamente específicas, bem como, sua capacidade de incorporar agentes químicos em uma superfície em nanoescala, são promissoras para a melhorar a filtração (ZHU et al., 2017). Assim, para que muitas partículas pequenas, como caso do vírus, sejam capturados e barrados durante a utilização de máscaras faciais, utiliza-se fibras mais finas na sua constituição, em tamanhos nanométricos, como as nanofibras, que mostram elevada eficiência após serem produzidas pelo processo de eletrofiação (TEBYETEKERWA et al., 2020). Além disso, nas fibras nanométricas podem ser adicionados outros compostos com propriedades antivirais e antibacterianas, o que ajudaria na desativação de

contaminantes, reduzindo o risco de inalação de patógenos (CAMPOS et al., 2020).

Com isso cita-se estudos que realizaram a pesquisa utilizando a nanotecnologia em fibras, como no caso de Akduman (2021), que produziram nanofibras de acetato de celulosa para ser aplicada como revestimento em respiradores N95, a fim de melhorar o desempenho de filtração de contaminantes (AKDUMAN, 2021). Já Bortolassi et al (2019), incorporou nanopartículas de TiO<sub>2</sub>, ZnO, Ag em nanofibras de poliacrilonitrila para melhorar a eficiência de filtragem de ar e remoção de patógenos (CANALLI BORTOLASSI et al., 2019). Uma pesquisa semelhante foi realizada por Lee et al., (2010), onde nanofibras foram revestidas por nanopartículas de TiO<sub>2</sub> para posteriormente serem incorporadas em filtros, que ao final do estudo mostrou excelente atividade fotocatalítica-bactericida e hidrofobicidade foto-induzida.

Foi também sintetizado as nanofibras eletrofiadas de poliacrilonitrila/prata por meio de um método in situ para obter uma membrana lavável com nanopartículas de prata altamente dispersas para formar a máscara antibacteriana (KHARAGHANI et al., 2018). Lee e colaboradores avaliaram o desempenho de filtros de membrana de nanofibras de polibenzimidazol eletrofiadas que podem ser usadas em máscaras faciais para serem à prova de poeira, garantindo alta eficiência de filtração frente PM 2,5 (partículas ultrafinas) (LEE et al., 2019).

Lu e colaboradores realizaram a fabricação de nanofibras eletrofiadas de matriz polimérica de polivinilbutiral não tóxica com o componente antibacteriano como o Timol, um fenol monoterpeneo natural, de forma a garantir a eficiência de filtração de partículas submicrônicas além de filtração bacteriana, promovendo a proteção da saúde humana (LU et al., 2021). Existe a produção de uma máscara facial biodegradável contando com 3 camadas de algodão-PLA-algodão, contendo fitoquímicos encapsulados na camada de filtragem interna da máscara, tal camada é produzida de PLA (poli-ácido-lático) nanofibrosa fabricada por eletrofição, com isso a máscara facial conta com uma maior permeabilidade ao ar, além de uma maior filtração bacteriana em comparação com máscaras faciais convencionais. O material nanofibroso da máscara resulta em adsorção eficaz de material particulado, partículas de aerossol e alvos bacterianos nas profundezas da camada de filtragem (PATIL et al., 2021).

Skaria e colaboradores testaram uma nova máscara facial projetada para melhorar a respirabilidade e a filtragem usando nanofibras, a fim de reduzir a exposição do receptor, tornando a máscara eficaz e confortável. As peças faciais foram testadas incluindo protótipos de máscaras cirúrgicas de nanofibras, máscaras cirúrgicas convencionais e compararam com respiradores N95. A partir dos resultados foi possível observar que a substituição de nanofibras por meio filtrantes convencionais reduziu significativamente a resistência ao fluxo de ar da máscara facial, resultando em filtragem aprimorada, melhorando a conformidade e reduzindo a exposição do receptor (SKARIA; SMALDONE, 2014). Já Sivri (2018) apresenta um novo protótipo de máscara facial com um revestimento nanofibroso superabsorvente com distribuição homogênea. As nanofibras produzidas por eletrofiação contendo soluções poliméricas aquosas de poli (álcool vinílico) / polímero superabsorvente(PVA/SAP), sendo simultaneamente revestidas em máscaras faciais conferindo conforto e proteção viral.

Foi comparado por autores o filtro melt-blown (usado para máscara facial N95) com o filtro de nanofibra. E observaram que o uso mais amplo do filtro com nanofibras para aplicações de máscara facial é altamente recomendado e pode ser reutilizado várias vezes com eficiência de filtragem robusta (ULLAH et al., 2020). Seguindo essa ideia Wang e colaboradores (2018) desenvolveram um meio filtrante altamente respirável e de conforto térmico em máscara facial, composto por uma membrana nanofibrosa de eletreto de polietersulfona/titanato de bário (PES/BaTiO<sub>3</sub> e NFM) incorporada em um substrato de polipropileno não tecido. Já Wang (2019) fabricaram materiais de filtragem de ar recarregáveis e biocidas criando estruturas avançadas de N-alanina com base em nanofibras de poliamida (PA) eletrofiadas. Com capacidade de captura de partículas finas, permitindo se ter um eficiência antibacteriana e melhor desempenho de filtragem de ar. Também foi desenvolvido um sistema de nanofibra em polietileno nanoporoso com forte adesão de material particulado, garantindo alta eficiência de captura, além de ter um resfriamento radiotivo eficaz (YANG et al., 2017b).

Ao contrário das pesquisas relatadas acima sobre a utilização de nanofibras, Aydemir; Ulusu (2020) sugere a captura do vírus SARS-CoV-2 antes de entrar no hospedeiro, usando a nanotecnologia nas máscaras. Logo, os autores sugeriram a produção de nanomateriais contendo ECA2 (*enzima conversora de*

*angiotensina 2*), mostrando a eficácia da mesma quando revestem as enzimas, melhorando sua atividade catalítica e sua estabilidade. Porém em outro estudo, é demonstrado o desenvolvimento de uma membrana nanoporosa à base de sílica flexível a fim de obter uma máscara N95 reutilizável com uma membrana substituível e com eficiência de filtração aprimorada (EL-ATAB; MISHRA; HUSSAIN, 2021). Os tecidos médicos de algodão podem ser revestidos com nanopartículas de óxido de zinco, para produzir tecidos biocompatíveis além de propriedades antibacterianas duráveis (EL-NAHHAL et al., 2020).

Já pesquisadores como Hiragond et al., (2018), Joe; Park; Hwang, (2016) Ravindra et al., (2010) e Valdez-Salas et al., (2021) trabalharam com nanopartículas de prata (AgNPs) para tratar máscaras faciais e filtros, como forma de melhorar o desempenho de filtração e conferir atividade antibacteriana e antiviral. Destaque para o estudo de (RAVINDRA et al., 2010) que além de utilizar AgNPs também incorporou extratos naturais em fibras de algodão como *Eucalyptus citrodora* e *Ficies bengalensis*, para que o material conferisse atividade antimicrobianas mesmo após várias lavagens, indicando o uso em aplicações médicas e de prevenção de infecções.

Li et al., (2006) avaliou a atividade antimicrobiana de máscaras faciais revestidas com nanopartículas consistindo de uma mistura de nitrato de prata e dióxido de titânio, como forma de proteção contra agentes infecciosos, diminuindo o risco de transmissão. Houve a realização da testagem de diferentes combinações de tecidos e máscaras faciais avaliados sob fluxo de ar de convecção forçada com aerossóis pulsados que contem nanopartículas de poli(ácido láctico-co-glicólico) semelhante a vírus fluorescentes para rastrear a transmissão através de materiais que simulam a respiração forçada (LUSTIG et al., 2020). Swaminathan; Sharma, (2019) avaliaram o efeito antibacteriano de nanomateriais monometálicos como  $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $AgTiO_2$ ,  $AgZnO$ , como forma de revestimento para controlar o crescimento de patógenos além de combater certos poluentes comuns do ar.

O grafeno também pode ser utilizado em tecidos e máscaras faciais, por apresentar eficiência de remoção de material particulado, eficiência de filtração e características antimicrobianas, em algumas pesquisas o grafeno apresenta propriedades de autoesterilização consequentemente tornando o material reutilizável, são algumas das características encontradas ao utilizar esse

nanomaterial (FIGEREZ et al., 2020; LIN et al., 2021; SHAN et al., 2020; ZHONG et al., 2020).

Nanofios estão sendo utilizados em máscaras faciais para conferir propriedades antimicrobianas, além do aumento do ajuste dos poros dos filtros, aumentando a proteção contra patógenos, aumentando seu potencial de aplicação. Quando incorporados íons de cobre e dióxido de titânio, mostrou resultados promissores em relação ao efeito antiviral frente SARS-CoV-2 (HORVÁTH et al., 2020; KUMAR et al., 2021). Nanotubos de carbono também foram utilizadas em máscaras faciais para desempenhar função de filtração bioaerossois, além de resposta fototérmica, com capacidade autoesterilização, efeito de superhidrofobicidade, apresentando efeito bactericida e virucida (SONI et al., 2021; ZOU; YAO, 2015).

Como exemplos das patentes incluídas na nossa pesquisa, a patente WO2021214498A3, utilizam nanofiltros que consiste de nanopartículas inorgânicas contendo prata, óxido de zinco e ouro, além de nanopartículas orgânicas contendo amônia quaternária e N-alaninas, onde são transferidos para os nanofiltros que se encontra na camada intermediária da máscara, para ter uma espessura de camada controlada para capturar vírus em nanoescala e permitir uma boa respiração (LOGOTHETIS, STERGIOS; KARAGKIOZAKI, VARVARA; ORFANOS, ALEXANDRO, 2021). Já na invenção CN112568522A, os inventores utilizaram as mesmas nanopartículas constituídas por óxido de zinco, óxido de cobre e prata, dispostos na camada interna da máscara de proteção médica, para proporcionar propriedades antibacterianas, mantendo o conforto durante o uso da máscara, sendo mais agradável a pele, melhorando a respirabilidade (FAN JIAONA; FAN LINA, 2021).

A patente CN107455822A, descreve a utilização de nanofibras, que atuam na camada de tecido não tecido, como um filtro eficaz, não possuindo apenas alta taxa de rejeição de partículas inaláveis, mas também possuindo boa permeabilidade ao ar. Atualmente, as nanofibras poliméricas são preparadas principalmente por eletrofiação e centrifugação, logo o autor utiliza as nanofibras eletrofiadas em máscaras para proteger os usuários de contaminantes transportados pelo ar (LIN TONG et al., 2017). Já os inventores da CN111820502A, utilizaram grafeno nas camadas internas e externas do tecido não tecido, com possibilidade de inibir bactérias e vírus (LIU MINGJIANG, 2020).

Além disso na patente CN112481644A, foi utilizado grafeno em forma de flor, onde são formado por agregados de grafeno que são formados pela ondulação de uma única camada ou múltiplas camadas de nanomateriais bidimensionais ultrafinas. O pano fundido contendo grafeno em forma de flor tem características de alto desempenho de filtração, boa permeabilidade ao ar, excelentes propriedades antimicrobiana, aumentando a vida útil. As máscaras feitas com o pano fundido são mais fortes e mais duráveis quando comparado ao pano fundido comum (HAO SIJIA et al., 2021).

Também cita-se as nanopartículas de metal de cloreto, que nada mais é, que partículas de cloreto de sódio, cloreto de magnésio, cloreto de cálcio, cloreto de potássio ou uma mistura dos mesmos, onde são impregnados na camada intermediária, a fim de maximizar o desempenho antiviral do material têxtil (BYEON JEONG HOON, 2021). Na invenção WO2021239663, utilizam nanoplaquetas de grafeno para tratar artigos têxteis, visando aumentar a condutividade elétrica e/ou térmica, além de aumentar o poder de filtração e as propriedades bloqueadores de germes, em relação as características filtrantes, foram avaliadas a relação de nevoas de líquidos inaláveis (aerossóis) e também a relação de microrganismo, como bactérias, fungos e vírus, sendo projetados para saúde pessoal como máscaras faciais (CESAREO, GIULIO GIUSEPPE, 2021a, 2021b). De acordo WO2022003433, criou um material de filtro presente nas máscaras faciais contendo uma membrana de nanofibra eletrofiada com um agente de nanomaterial ativo (sementes pretas, anis, monolaurato de glicerol e zinco) incorporado na membrana intermediária, proporcionando características como baixa resistência à filtração do ar devido sua porosidade, alta rejeição de contaminantes microbianos devido aos pequenos e médios tamanhos de poros (HASAN, SHADI WAJIH, 2021). Máscara facial ecologicamente correta e biodegradável feita de materiais de tecido de algodão contendo nanopartículas de dióxido de titânio, óxido de zinco, carbonato de cálcio e óxido de magnésio, que são quimicamente modificadas ligadas nas fibras de tecidos, para possuir maior hidrofobicidade na camada externa, filtração mecânica e eletrostática com atividade destruidora de vírus e bactérias na camada intermediária (RAJAPAKSE, GAMINI; THILAKARATHNE, NIRODHA; ABEYSOORIYA, NAMAL, 2021). Logo, na invenção USA20200318283, refere-se a um revestimento nanoestruturado de dióxido de titânio, juntamente com

nanopartículas de ouro e prata incorporados em material têxtil, apresentando propriedades autolimpantes, antimicrobianas e protetores contra radiação (UDDIN, MOHAMMED JASIM; MOORE, H.JUSTIN, 2020).

Já para a invenção WO2016099417, visam a criação de uma máscara antiviral e antibacteriana com maior eficácia do que as máscaras faciais existentes produzidas a partir de um material de bambu juntamente com nanopartículas de cloreto de sódio incorporadas na camada intermediária da máscara como uma matriz de filtro (KAYA, CENGIZ et al., 2016). M

Com base nos dados analisados neste trabalho pode se sugerir que nanotecnologia foi incluída nos EPIs, especialmente máscaras faciais, para aumentar a capacidade de filtragem retendo partículas pequenas, como os vírus, e ajudar a eliminar microorganismos, diminuindo o perigo destes serem inalados pelo usuário. A eficiência das máscaras depende das características dos nanomateriais associados, afim melhorar as propriedades físicas desses EPIs, como as características do filtro, o tamanho dos poros e a capacidade de eliminar microorganismos por contato (DE ARAÚJO ANDRADE et al., 2021).

## **Conclusão**

Este trabalho apresentou um resumo bibliométrico da pesquisa de publicações e patentes que avaliaram a utilização da nanotecnologia na produção de EPIs. Conclui-se que houve um crescimento notável nas pesquisas relacionadas ao tema especialmente nos anos 2020 e 2021 devido ao período pandêmico e a necessidade de novas tecnologias que pudessem auxiliar no controle do vírus SARS-CoV-2. Os EUA têm sido um dos países mais favorecidos por colaborar em pesquisas em nanotecnologias e EPIs, juntamente com países como Índia e Brasil, mas a China continua sendo o país que mais faz depósitos de patentes. Dentre os principais tipos de nanomateriais, tanto nas publicações quanto nas patentes, as nanopartículas de prata foram os materiais mais estudados. Acredita-se que com o passar dos anos, as pesquisas em relação ao tema do estudo continuem de forma crescente, para prevenção e controle de futuras pandemias.

## Referências

- AVILA, A. G.; HINESTROZA, J. P. Smart textiles: tough cotton. **Nature Nanotechnology**, v. 3, n. 8, p. 458–459, ago. 2008.
- BALACHANDAR, V. et al. COVID-19: emerging protective measures. **European Review for Medical and Pharmacological Sciences**, v. 24, n. 6, p. 3422–3425, mar. 2020
- BALAGNA, C. et al. Virucidal effect against coronavirus SARS-CoV-2 of a silver nanocluster/silica composite sputtered coating. **Open Ceramics**, v. 1, p. 100006, maio 2020.
- BURDUŞEL, A.-C. et al. Biomedical Applications of Silver Nanoparticles: An Up-to-Date Overview. **Nanomaterials**, v. 8, n. 9, p. 681, 31 ago. 2018.
- CAMPOS, E. V. R. et al. How can nanotechnology help to combat COVID-19? Opportunities and urgent need. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 18, n. 1, p. 125, dez. 2020.
- CHOWELL, G.; MIZUMOTO, K. The COVID-19 pandemic in the USA: what might we expect? **The Lancet**, v. 395, n. 10230, p. 1093–1094, 2020.
- CHU, D. K. et al. Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review a 2020.
- CHUA, M. H. et al. Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives. **Research**, v. 2020, p. 1–40, 7 ago. 2020.
- DAIM, T. U. et al. Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 73, n. 8, p. 981–1012, out. 2006.
- DE ARAÚJO ANDRADE, T. et al. Technological Scenario for Masks in Patent Database During Covid-19 Pandemic. **AAPS PharmSciTech**, v. 22, n. 2, p. 72, fev. 2021.
- FAN JIAONA; FAN LINA. **Antibacterial medical protective mask**, 30 mar. 2021. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/075144848/publication/CN112568522A>

FAN, Y.; ZHANG, Q. Development of liposomal formulations: From concept to clinical investigations. **Asian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 8, n. 2, p. 81–87, abr. 2013.

FORNAGUERA, C.; GARCÍA-CELMA, M. J. Personalized Nanomedicine: A Revolution at the Nanoscale. **Journal of Personalized Medicine**, v. 7, n. 4, p. E12, 12 out. 2017.

FRIEDRICHS, S. AND B. VAN BEUZEKOM. **Revised proposal for the revision of the statistical definitions of biotechnology and nanotechnology**: OECD Science, Technology and Industry Working Papers. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/revised-proposal-for-the-revision-of-the-statistical-definitions-of-biotechnology-and-nanotechnology\\_085e0151-en](https://www.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/revised-proposal-for-the-revision-of-the-statistical-definitions-of-biotechnology-and-nanotechnology_085e0151-en)>. Acesso em: 30 jan. 2022.

GONDI, S. et al. Personal protective equipment needs in the USA during the COVID-19 pandemic. **The Lancet**, v. 395, n. 10237, p. e90–e91, 2020.

HAO SIJIA et al. **Flower-shaped graphene, melt-blown cloth, preparation methods of flower-shaped graphene and melt-blown cloth, and mask**, 12 mar. 2021. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/074929022/publication/CN112481644A>

HASHEMPOUR, S. et al. Skin toxicity of topically applied nanoparticles. **Therapeutic Delivery**, v. 10, n. 6, p. 383–396, 1 jun. 2019.

HUANG, H. et al. COVID-19: A Call for Physical Scientists and Engineers. **ACS Nano**, v. 14, n. 4, p. 3747–3754, 28 abr. 2020.

IDUMAH, C. I. Influence of nanotechnology in polymeric textiles, applications, and fight against COVID-19. **The Journal of The Textile Institute**, p. 1–21, 23 dez. 2020.

IVERSEN, T.-G.; SKOTLAND, T.; SANDVIG, K. Endocytosis and intracellular transport of nanoparticles: Present knowledge and need for future studies. **Nano Today**, v. 6, n. 2, p. 176–185, abr. 2011.

KELSALL, R. W.; HAMLEY, I. W.; GEOGHEGAN, M. (EDS.). **Nanoscale science and technology**. Chichester, England ; Hoboken, NJ: John Wiley, 2005.

LIN TONG et al. **Nano-fiber and micro-fiber composite anti-haze gauze mask**, 12 dez. 2017. Disponível em:

<<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/060552339/publication/CN107455822A>

LIU MINGJIANG. **Mask capable of inhibiting bacteria and viruses**, 27 out. 2020. Disponível em:

<<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/072924269/publication/CN111820502A>

LOGOTHETIS, STERGIOS, K., Varvara; KARAGKIOZAKI, VARVARA; ORFANOS, ALEXANDRO. **NANOFILTER SYSTEM FOR PERSONAL AND MEDICAL PROTECTIVE EQUIPMENT WITH NANO-FACEMASK, RESP. NANO-FACESHIELD AND METHOD OF MANUFACTURING THEREOF**, 2021. Disponível em:

<<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/072964746/publication/GR20200100210A>

O'DOWD, K. et al. Face Masks and Respirators in the Fight against the COVID-19 Pandemic: A Review of Current Materials, Advances and Future Perspectives. PALMIERI, V.; PAPI, M. Can graphene take part in the fight against COVID-19? **Nano Today**, v. 33, p. 100883, ago. 2020.

SOARES, S. et al. Nanomedicine: Principles, Properties, and Regulatory Issues. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, p. 360, 2018.

TEBYETEKERWA, M. et al. Electrospun Nanofibers-Based Face Masks. **Advanced Fiber Materials**, v. 2, n. 3, p. 161–166, jun. 2020.

VALDIGLESIAS, V.; LAFFON, B. The impact of nanotechnology in the current universal COVID-19 crisis. Let's not forget nanosafety! **Nanotoxicology**, v. 14, n. 8, p. 1013–1016, 13 set. 2020.

VAN NUNEN, K. et al. Bibliometric analysis of safety culture research. **Safety Science**, v. 108, p. 248–258, out. 2018.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A pandemia provocada pela alta propagação do vírus SARS-CoV-2, mudou nossa forma de viver. Um dos EPIs fundamentais nesse “novo normal”, foram as máscaras de proteção facial, utilizadas como forma de prevenção da doença infecciosa. Desta forma novas tecnologias, como a nanotecnologia, foram desenvolvidas afim de aumentar a capacidade de eliminação dos vírus, além de melhorar a capacidade de filtração. Neste trabalho, foi possível verificar que há uma quantidade significativa de pesquisas sendo realizadas para o desenvolvimento de máscaras faciais e respiradores, a fim de torna-los mais eficientes, seguros e reutilizáveis, com propriedades antivirais importantes, para a prevenção da atual e futuras pandemias.

Como perspectiva futura sugerimos a produção de nanomateriais lipídicos contendo compostos antivirais naturais, que apresentem baixa toxicidade, para serem aplicados em máscaras e/ou respiradores como forma de melhorar sua efetividade. O desenvolvimento de EPI com propriedades antimicrobianas, é um processo em evolução, que deve ser avaliada suas propriedades, além do descarte correto das mesmas, de forma que não prejudique o meio ambiente.

## 6. REFERÊNCIAS

- ADAMCAKOVA-DODD, A. et al. Effects of prenatal inhalation exposure to copper nanoparticles on murine dams and offspring. **Particle and Fibre Toxicology**, v. 12, n. 1, p. 30, dez. 2015.
- ADAMS, J. Recommendation regarding the use of cloth face coverings, especially in areas of significant community-based transmission. *Coronavirus Disease 2019 (CoVID-19)*. 3 abr. 2020.
- AKDUMAN, C. Cellulose acetate and polyvinylidene fluoride nanofiber mats for N95 respirators. **Journal of Industrial Textiles**, v. 50, n. 8, p. 1239–1261, mar. 2021.
- ANFINRUD, P. et al. Visualizing Speech-Generated Oral Fluid Droplets with Laser Light Scattering. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 21, p. 2061–2063, 21 maio 2020.

ARAGAW, T. A. Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. **Marine Pollution Bulletin**, v. 159, p. 111517, out. 2020.

ARONS, M. M. et al. Presymptomatic SARS-CoV-2 Infections and Transmission in a Skilled Nursing Facility. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 22, p. 2081–2090, 28 maio 2020.

ASSIS, M. et al. SiO<sub>2</sub>-Ag Composite as a Highly Virucidal Material: A Roadmap that Rapidly Eliminates SARS-CoV-2. **Nanomaterials**, v. 11, n. 3, p. 638, 4 mar. 2021.

ASTM F2101-14, 2014. **Test Method for Evaluating the Bacterial Filtration Efficiency (BFE) of Medical Face Mask Materials, Using a Biological Aerosol of Staphylococcus aureus**. [s.l.] ASTM International, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?F2101-14>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

ASTM F2101-19. **Test Method for Evaluating the Bacterial Filtration Efficiency (BFE) of Medical Face Mask Materials, Using a Biological Aerosol of Staphylococcus aureus**. [s.l.] ASTM International, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?F2101-01>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

ASTM INTERNATIONAL, 2010. ASTM F2299/F2299M. **Test Method for Determining the Initial Efficiency of Materials Used in Medical Face Masks to Penetration by Particulates Using Latex Spheres**. [s.l.] ASTM International, 2010. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?F2299F2299M-03R10>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

AYDEMIR, D.; ULUSU, N. N. Correspondence: Angiotensin-converting enzyme 2 coated nanoparticles containing respiratory masks, chewing gums and nasal filters may be used for protection against COVID-19 infection. **Travel Medicine and Infectious Disease**, v. 37, p. 101697, out. 2020.

BAI, B. et al. Non-enveloped virus reduction with quaternized chitosan nanofibers containing graphene. **Carbohydrate Research**, v. 380, p. 137–142, out. 2013.

BALACHANDAR, V. et al. COVID-19: emerging protective measures. **European Review for Medical and Pharmacological Sciences**, v. 24, n. 6, p. 3422–3425, mar. 2020.

BALAGNA, C. et al. Virucidal effect against coronavirus SARS-CoV-2 of a silver nanocluster/silica composite sputtered coating. **Open Ceramics**, v. 1, p. 100006, maio 2020.

BAŁAZY, A. et al. Do N95 respirators provide 95% protection level against airborne viruses, and how adequate are surgical masks? **American Journal of Infection Control**, v. 34, n. 2, p. 51–57, mar. 2006.

BHATTACHARJEE, S. et al. Graphene Modified Multifunctional Personal Protective Clothing. **Advanced Materials Interfaces**, v. 6, n. 21, p. 1900622, nov. 2019.

BORKOW, G. et al. A Novel Anti-Influenza Copper Oxide Containing Respiratory Face Mask. **PLoS ONE**, v. 5, n. 6, p. e11295, 25 jun. 2010.

BOZZI, A.; YURANOVA, T.; KIWI, J. Self-cleaning of wool-polyamide and polyester textiles by TiO<sub>2</sub>-rutile modification under daylight irradiation at ambient temperature. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 172, n. 1, p. 27–34, maio 2005.

BURDUŞEL, A.-C. et al. Biomedical Applications of Silver Nanoparticles: An Up-to-Date Overview. **Nanomaterials**, v. 8, n. 9, p. 681, 31 ago. 2018.

BURNETT, R. et al. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 38, p. 9592–9597, 18 set. 2018.

BYEON JEONG HOON. **MASK WITH METAL CHLORIDE NANO DRY SALT**, 2021. Disponível em:

<<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/077923312/publication/KR20210117210A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>>

CAMPOS, E. V. R. et al. How can nanotechnology help to combat COVID-19? Opportunities and urgent need. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 18, n. 1, p. 125, dez. 2020.

CANALLI BORTOLASSI, A. C. et al. Composites Based on Nanoparticle and Pan Electrospun Nanofiber Membranes for Air Filtration and Bacterial Removal. **Nanomaterials**, v. 9, n. 12, p. 1740, 6 dez. 2019.

CESAREO, GIULIO GIUSEPPE, R., Laura Giorgia. **Method of Treating a Textile with Grafene and Textile so Obtained** Directa Plus S.P.A, 2 dez. 2021a. Disponível em:

<[https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021239663&\\_cid=P10-L0JJBB-21996-1](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021239663&_cid=P10-L0JJBB-21996-1)>

CESAREO, GIULIO GIUSEPPE, R., Laura Giorgia. **Textile Article Comprising Graphene and Filters Comprising said Textile Article** Directa Plus S.P.A, 2 dez. 2021b. Disponível em:

<[https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021239659&\\_cid=P10-L0JJBB-21996-1](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021239659&_cid=P10-L0JJBB-21996-1)>

CHEN GUANGCHUAN; YU HONGGUANG; LI MENGTING. **Antibacterial and antiviral master batch for transparent mask, preparation method thereof and antibacterial and antiviral transparent mask**, 2020. Disponível em:

<<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/071812015/publication/CN111484710A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>>

CHOWELL, G.; MIZUMOTO, K. The COVID-19 pandemic in the USA: what might we expect? **The Lancet**, v. 395, n. 10230, p. 1093–1094, 2020.

CHU, D. K. et al. Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet**, v. 395, n. 10242, p. 1973–1987, jun. 2020.

CHUA, M. H. et al. Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives. **Research**, v. 2020, p. 1–40, 7 ago. 2020.

CNN BRASIL. **Ômicron representa 97% dos casos de Covid no Brasil**, 11 dez. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/saude/omicron-representa-97-dos-casos-de-covid-no-brasil-apontam-redes-de-pesquisa/>>.

Acesso em: 16 fev. 2022

COOPER, I. D. Bibliometrics basics. **Journal of the Medical Library Association : JMLA**, v. 103, n. 4, p. 217–218, out. 2015.

COWLING, B. J. et al. Face masks to prevent transmission of influenza virus: a systematic review. **Epidemiology and Infection**, v. 138, n. 4, p. 449–456, abr. 2010.

DAIM, T. U. et al. Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 73, n. 8, p. 981–1012, out. 2006.

DAOUD, W. A.; XIN, J. H. Low Temperature Sol-Gel Processed Photocatalytic Titania Coating. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 29, n. 1, p. 25–29, jan. 2004.

DAS, S. **Product safety and restricted substances in apparel**. [s.l.] WPI Publishing, 2016.

DAVIES, A. et al. Testing the Efficacy of Homemade Masks: Would They Protect in an Influenza Pandemic? **Disaster Medicine and Public Health Preparedness**, v. 7, n. 4, p. 413–418, ago. 2013.

DE ARAÚJO ANDRADE, T. et al. Technological Scenario for Masks in Patent Database During Covid-19 Pandemic. **AAPS PharmSciTech**, v. 22, n. 2, p. 72, fev. 2021.

DELFINPROTECT. **Tecido comacção contra coronavírus**, 2020. Disponível em: <<https://delfimprotect.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2021

DELLWEG, D. et al. **Noninvasive ventilation masks with viral filters to protect health care workers from SARS-CoV-2 / Coronavirus infections**. [s.l.] In Review, 8 abr. 2020. Disponível em: <<https://www.researchsquare.com/article/rs-21269/v1>>. Acesso em: 1 set. 2021.

DOMTECH. **Conjunto Privativo Scrubs ANTIVIRAL com ANTI-COVID Nanox® íons de prata AG+FRESH®**, 2020. Disponível em: <<https://domtechnology.com.br/produto/conjunto-privativo-scrubs-antiviral-com-anti-covid-nanox-ions-de-prata-agfresh/>>. Acesso em: 19 nov. 2021

DRÉNO, B. et al. Safety of titanium dioxide nanoparticles in cosmetics. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 33, n. S7, p. 34–46, nov. 2019.

DURÁN, N. et al. Potential use of silver nanoparticles on pathogenic bacteria, their toxicity and possible mechanisms of action. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 21, n. 6, p. 949–959, 2010.

DURÁN, N. et al. Silver nanoparticles: A new view on mechanistic aspects on antimicrobial activity. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, v. 12, n. 3, p. 789–799, abr. 2016.

EIKENBERRY, S. E. et al. To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic. **Infectious Disease Modelling**, v. 5, p. 293–308, 2020.

EL-ATAB, N.; MISHRA, R. B.; HUSSAIN, M. M. Toward nanotechnology-enabled face masks against SARS-CoV-2 and pandemic respiratory diseases. **Nanotechnology**, v. 33, n. 6, 19 nov. 2021.

EL-NAHHAL, I. M. et al. Preparation and antimicrobial activity of ZnO-NPs coated cotton/starch and their functionalized ZnO-Ag/cotton and Zn(II) curcumin/cotton materials. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 5410, dez. 2020.

ESPINOZA R., DR. J.; CRUZ CH., DR. R. Variante Ómicron SARS-CoV-2: Una nueva variante de preocupación. **Boletín Micológico**, v. 36, n. 2, 6 dez. 2021.

FAN JIAONA; FAN LINA. **Antibacterial medical protective mask**, 30 mar. 2021.

Disponível

em:

<<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/075144848/publication/CN112568522A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>>

FAN, Y.; ZHANG, Q. Development of liposomal formulations: From concept to clinical investigations. **Asian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 8, n. 2, p. 81–87, abr. 2013.

FERIOLI, M. et al. Protecting healthcare workers from SARS-CoV-2 infection: practical indications. **European Respiratory Review: An Official Journal of the European Respiratory Society**, v. 29, n. 155, p. 200068, 31 mar. 2020.

FIGEREZ, S. P. et al. Graphene oxide-based rechargeable respiratory masks. **Oxford Open Materials Science**, v. 1, n. 1, p. itab003, 23 nov. 2020.

FORNAGUERA, C.; GARCÍA-CELMA, M. J. Personalized Nanomedicine: A Revolution at the Nanoscale. **Journal of Personalized Medicine**, v. 7, n. 4, p. E12, 12 out. 2017.

FORNI, D. et al. Molecular Evolution of Human Coronavirus Genomes. **Trends in Microbiology**, v. 25, n. 1, p. 35–48, jan. 2017.

FOROUZANDEH, P.; O'DOWD, K.; PILLAI, S. C. Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: An overview of the standards and testing methods. **Safety Science**, v. 133, p. 104995, jan. 2021a.

FOROUZANDEH, P.; O'DOWD, K.; PILLAI, S. C. Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: An overview of the standards and testing methods. **Safety Science**, v. 133, p. 104995, jan. 2021b.

FRIEDRICHS, S. AND B. VAN BEUZEKOM. **Revised proposal for the revision of the statistical definitions of biotechnology and nanotechnology**: OECD Science, Technology and Industry Working Papers. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/revised-proposal-for-the-revision-of-the-statistical-definitions-of-biotechnology-and-nanotechnology\\_085e0151-en](https://www.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/revised-proposal-for-the-revision-of-the-statistical-definitions-of-biotechnology-and-nanotechnology_085e0151-en)>. Acesso em: 30 jan. 2022.

GODIN, B.; TOUITOU, E. Transdermal skin delivery: Predictions for humans from in vivo, ex vivo and animal models☆. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 59, n. 11, p. 1152–1161, 30 set. 2007.

GONDI, S. et al. Personal protective equipment needs in the USA during the COVID-19 pandemic. **The Lancet**, v. 395, n. 10237, p. e90–e91, 2020.

GRIFFITT, R. J. et al. Comparison of molecular and histological changes in zebrafish gills exposed to metallic nanoparticles. **Toxicological Sciences: An Official Journal of the Society of Toxicology**, v. 107, n. 2, p. 404–415, fev. 2009.

GUO, Y.-R. et al. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak - an update on the status. **Military Medical Research**, v. 7, n. 1, p. 11, 13 mar. 2020.

HADRUP, N. et al. Pulmonary toxicity of silver vapours, nanoparticles and fine dusts: A review. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 115, p. 104690, ago. 2020.

HAN, Z. Y.; WENG, W. G.; HUANG, Q. Y. Characterizations of particle size distribution of the droplets exhaled by sneeze. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 10, n. 88, p. 20130560, 6 nov. 2013.

HANNAH RITCHIE et al. **Coronavirus (COVID-19) Cases**, 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/covid-cases>>. Acesso em: 1 fev. 2022

HAO SIJIA et al. **Flower-shaped graphene, melt-blown cloth, preparation methods of flower-shaped graphene and melt-blown cloth, and mask**, 12

mar. 2021. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/074929022/publication/CN112481644A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>>

HASAN, SHADI WAJIH, M., Musthafa. **Multifunctional Filter Materials** Khalifa University of Science and Technology, 6 jan. 2022. Disponível em: <[https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2022003433&\\_cid=P10-L0JJBB-21996-1](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2022003433&_cid=P10-L0JJBB-21996-1)>

HASHEMPOUR, S. et al. Skin toxicity of topically applied nanoparticles. **Therapeutic Delivery**, v. 10, n. 6, p. 383–396, 1 jun. 2019.

HEIQ MATERIALS AG. **HEIQ VIROBLOCK ANTIVIRAL & ANTIBACTERIAL PROTECTION**, 2021. Disponível em: <<https://heiq.com/products/functional-textile-technologies/heiq-viroblock/>>. Acesso em: 18 nov. 2021

HIRAGOND, C. B. et al. Enhanced anti-microbial response of commercial face mask using colloidal silver nanoparticles. **Vacuum**, v. 156, p. 475–482, out. 2018.

HORVÁTH, E. et al. Photocatalytic Nanowires-Based Air Filter: Towards Reusable Protective Masks. **Advanced Functional Materials**, v. 30, n. 40, p. 2004615, out. 2020.

HUANG, H. et al. COVID-19: A Call for Physical Scientists and Engineers. **ACS Nano**, v. 14, n. 4, p. 3747–3754, 28 abr. 2020.

IVERSEN, T.-G.; SKOTLAND, T.; SANDVIG, K. Endocytosis and intracellular transport of nanoparticles: Present knowledge and need for future studies. **Nano Today**, v. 6, n. 2, p. 176–185, abr. 2011.

JACOBS, J. F.; VAN DE POEL, I.; OSSEWEIJER, P. Sunscreens with Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) Nano-Particles: A Societal Experiment. **Nanoethics**, v. 4, n. 2, p. 103–113, ago. 2010.

JAVID, B.; WEEKES, M. P.; MATHESON, N. J. Covid-19: should the public wear face masks? **BMJ (Clinical research ed.)**, v. 369, p. m1442, 9 abr. 2020.

JIANG, W. et al. Nanoparticle-mediated cellular response is size-dependent. **Nature Nanotechnology**, v. 3, n. 3, p. 145–150, mar. 2008.

JOE ALLEN BATTY. **Escudo de segurança para máscara facial**, [s.d.].

JOE, Y. H.; PARK, D. H.; HWANG, J. Evaluation of Ag nanoparticle coated air filter against aerosolized virus: Anti-viral efficiency with dust loading. **Journal of Hazardous Materials**, v. 301, p. 547–553, 15 jan. 2016.

JOHNSON, D. F. et al. A Quantitative Assessment of the Efficacy of Surgical and N95 Masks to Filter Influenza Virus in Patients with Acute Influenza Infection. **Clinical Infectious Diseases**, v. 49, n. 2, p. 275–277, 15 jul. 2009.

JOHNSTON, L. J. et al. Key challenges for evaluation of the safety of engineered nanomaterials. **NanoImpact**, v. 18, p. 100219, abr. 2020.

KAUR, M. et al. Antiviral Essential Oils Incorporated in Nanocarriers: Strategy for Prevention from COVID-19 and Future Infectious Pandemics. **Pharmaceutical Nanotechnology**, v. 8, n. 6, p. 437–451, 2020.

KAYA, CENGIZ, E., Guncem Ozgun et al. **A Modular Antimicrobial and Antiviral Face Mask and A Manufacturing Method Against Epidemics**, 2016. Disponível em: <[https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016099417&\\_cid=P10-L0JJBB-21996-2](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016099417&_cid=P10-L0JJBB-21996-2)>

KAYSER, O.; LEMKE, A.; HERNÁNDEZ-TREJO, N. The impact of nanobiotechnology on the development of new drug delivery systems. **Current Pharmaceutical Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 3–5, fev. 2005.

KHARAGHANI, D. et al. Preparation and In-Vitro Assessment of Hierarchical Organized Antibacterial Breath Mask Based on Polyacrylonitrile/Silver (PAN/AgNPs) Nanofiber. **Nanomaterials**, v. 8, n. 7, p. 461, 25 jun. 2018.

KIERSMA, M. E. Occupational safety and health administration. 2014.

KLEIN, E.; SMITH, D. L.; LAXMINARAYAN, R. Hospitalizations and deaths caused by methicillin-resistant Staphylococcus aureus, United States, 1999-2005. **Emerging Infectious Diseases**, v. 13, n. 12, p. 1840–1846, dez. 2007.

KONDA, A. et al. Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks. **ACS Nano**, v. 14, n. 5, p. 6339–6347, 26 maio 2020.

KOSTARELOS, K. Nanoscale nights of COVID-19. **Nature Nanotechnology**, v. 15, n. 5, p. 343–344, maio 2020.

KUMAR, P. et al. Reusable MoS<sub>2</sub>-Modified Antibacterial Fabrics with Photothermal Disinfection Properties for Repurposing of Personal Protective Masks. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 13, n. 11, p. 12912–12927, 24 mar. 2021.

KUTTER, J. S. et al. Transmission routes of respiratory viruses among humans. **Current Opinion in Virology**, v. 28, p. 142–151, fev. 2018.

LEE, B.-Y. et al. Titanium dioxide-coated nanofibers for advanced filters. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 12, n. 7, p. 2511–2519, set. 2010.

LEE, N.-Y.; KO, W.-C.; HSUEH, P.-R. Nanoparticles in the Treatment of Infections Caused by Multidrug-Resistant Organisms. **Frontiers in Pharmacology**, v. 10, p. 1153, 4 out. 2019.

LEE, S. et al. Reusable Polybenzimidazole Nanofiber Membrane Filter for Highly Breathable PM<sub>2.5</sub> Dust Proof Mask. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 11, n. 3, p. 2750–2757, 23 jan. 2019.

LEUNG, N. H. L. et al. Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. **Nature Medicine**, v. 26, n. 5, p. 676–680, 1 maio 2020.

LI, D. T. S. et al. Facial protection in the era of COVID-19: A narrative review. **Oral Diseases**, v. 27, n. S3, p. 665–673, abr. 2021a.

LI, D. T. S. et al. Facial protection in the era of COVID-19: A narrative review. **Oral Diseases**, v. 27, n. S3, p. 665–673, abr. 2021b.

LI, Y. et al. Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. **Journal of Hospital Infection**, v. 62, n. 1, p. 58–63, jan. 2006.

LIN TONG et al. **Nano-fiber and micro-fiber composite anti-haze gauze mask**, 12 dez. 2017. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/060552339/publication/CN107455822A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>>

LIN, Z. et al. Superhydrophobic, photo-sterilize, and reusable mask based on graphene nanosheet-embedded carbon (GNEC) film. **Nano Research**, v. 14, n. 4, p. 1110–1115, abr. 2021.

LIU MINGJIANG. **Mask capable of inhibiting bacteria and viruses**, 27 out. 2020. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/072924269/publication/CN111820502A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial>>

%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>

LOGOTHETIS, STERGIOS, K., Varvara; KARAGKIOZAKI, VARVARA; ORFANOS, ALEXANDRO. **NANOFILTER SYSTEM FOR PERSONAL AND MEDICAL PROTECTIVE EQUIPMENT WITH NANO-FACEMASK, RESP. NANO-FACESHIELD AND METHOD OF MANUFACTURING THEREOF**, 2021.

Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/072964746/publication/GR20200100210A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>>

LU, W.-C. et al. Antibacterial Activity and Protection Efficiency of Polyvinyl Butyral Nanofibrous Membrane Containing Thymol Prepared through Vertical Electrospinning. **Polymers**, v. 13, n. 7, p. 1122, 1 abr. 2021.

LUO, Z. et al. Rethinking Nano-TiO<sub>2</sub> Safety: Overview of Toxic Effects in Humans and Aquatic Animals. **Small**, v. 16, n. 36, p. 2002019, set. 2020.

LUSTIG, S. R. et al. Effectiveness of Common Fabrics to Block Aqueous Aerosols of Virus-like Nanoparticles. **ACS Nano**, v. 14, n. 6, p. 7651–7658, 23 jun. 2020.

MACINTYRE, C. R. et al. A cluster randomised trial of cloth masks compared with medical masks in healthcare workers. **BMJ Open**, v. 5, n. 4, p. e006577–e006577, 22 abr. 2015.

MAIO, F. D. et al. **Graphene nanoplatelet and Graphene oxide functionalization of face mask materials inhibits infectivity of trapped SARS-CoV-2**. [s.l.] Occupational and Environmental Health, 18 set. 2020. Disponível em: <<http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.09.16.20194316>>. Acesso em: 29 set. 2021.

MALWEE. **MALWEE COM HEIQ VIROBLOCK® - Máscaras de Proteção**, 2020. Disponível em: <<https://www.malwee.com.br/kit-de-mascara-viroblock-adulto-malwee-1000079765bf38a/p?skuld=82062>>. Acesso em: 19 nov. 2021

MAO, G. et al. Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. **Science of The Total Environment**, v. 635, p. 1081–1090, set. 2018.

MATAI, I. et al. Progress in 3D bioprinting technology for tissue/organ regenerative engineering. **Biomaterials**, v. 226, p. 119536, jan. 2020.

MATTHEW CONLON. **A facemask having one or more nanofiber layers**, 18 set. 2014. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/WO2014143039A1/en>>

MEDEIROS, E. A. S. A luta dos profissionais de saúde no enfrentamento da COVID-19. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 33, p. e-EDT20200003, 5 maio 2020.

MEIRA, A. DA S. et al. Evaluation of porcine skin layers separation methods, freezing storage and anatomical site in in vitro percutaneous absorption studies using penciclovir formulations. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 60, p. 101926, dez. 2020.

MILTON, D. K. et al. Influenza Virus Aerosols in Human Exhaled Breath: Particle Size, Culturability, and Effect of Surgical Masks. **PLoS Pathogens**, v. 9, n. 3, p. e1003205, 7 mar. 2013.

MITTAL, A. et al. Non-invasive delivery of nanoparticles to hair follicles: a perspective for transcutaneous immunization. **Vaccine**, v. 31, n. 34, p. 3442–3451, 25 jul. 2013.

MITTAL, A. et al. Efficient nanoparticle-mediated needle-free transcutaneous vaccination via hair follicles requires adjuvantation. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine**, v. 11, n. 1, p. 147–154, jan. 2015.

MORAWSKA, L.; CAO, J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. **Environment International**, v. 139, p. 105730, jun. 2020.

MOSTAGHIMI, A. et al. Regulatory and Safety Considerations in Deploying a Locally Fabricated, Reusable Face Shield in a Hospital Responding to the COVID-19 Pandemic. **Med**, v. 1, n. 1, p. 139- 151.e4, dez. 2020.

NANOX INTELLIGENT MATERIALS. **Roupas, Uniformes e Acessórios Antivirais**, 2020. Disponível em: <<https://www.nanox.com.br/textil>>. Acesso em: 19 nov. 2021

NEL, A. E. et al. Understanding biophysicochemical interactions at the nano–bio interface. **Nature Materials**, v. 8, n. 7, p. 543–557, jul. 2009.

NURUNNABI, M. et al. Photoluminescent Graphene Nanoparticles for Cancer Phototherapy and Imaging. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 6, n. 15, p. 12413–12421, 13 ago. 2014.

O'DOWD, K. et al. Face Masks and Respirators in the Fight against the COVID-19 Pandemic: A Review of Current Materials, Advances and Future Perspectives. **Materials (Basel, Switzerland)**, v. 13, n. 15, p. E3363, 29 jul. 2020a.

O'DOWD, K. et al. Face Masks and Respirators in the Fight against the COVID-19 Pandemic: A Review of Current Materials, Advances and Future Perspectives. **Materials (Basel, Switzerland)**, v. 13, n. 15, p. E3363, 29 jul. 2020b.

PALMIERI, V. et al. Face masks and nanotechnology: Keep the blue side up. **Nano Today**, v. 37, p. 101077, abr. 2021.

PANKAJ KUMAR TYAGI, P. K. T. et al. Contribution of Nanotechnology in the Fight Against COVID-19. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 11, n. 1, p. 8233–8241, 22 jul. 2020.

PASSAGLIA, E. et al. Agri-Food Extracts Effectiveness in Improving Antibacterial and Antiviral Properties of Face Masks: A Proof-of-Concept Study. **ChemistrySelect**, v. 6, n. 9, p. 2288–2297, 5 mar. 2021.

PATIL, N. A. et al. Needleless electrospun phytochemicals encapsulated nanofibre based 3-ply biodegradable mask for combating COVID-19 pandemic. **Chemical Engineering Journal**, v. 416, p. 129152, jul. 2021.

PEMMADA, R. et al. Science-Based Strategies of Antiviral Coatings with Viricidal Properties for the COVID-19 Like Pandemics. **Materials**, v. 13, n. 18, p. 4041, 11 set. 2020.

PHAN, T. L.; CHING, C. T.-S. A Reusable Mask for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). **Archives of Medical Research**, v. 51, n. 5, p. 455–457, jul. 2020.

PHITTA MASK. **Phitta Mask**, 2020. Disponível em: <<https://phitta.com.br/>>. Acesso em: 21 nov. 2021

PMG- POUCHER MATERIAL GROUPOPORCHER DO BRASIL TECIDOS DE VIDRO LTDA. **Máscaras Com Aplicação De Acabamento Antiviral**, 2020. Disponível em: <<http://porcherdobrasil.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2021

PRATHER, K. A.; WANG, C. C.; SCHOOLEY, R. T. Reducing transmission of SARS-CoV-2. **Science**, v. 368, n. 6498, p. 1422–1424, 26 jun. 2020.

QI, K. et al. Facile preparation of anatase/SiO<sub>2</sub> spherical nanocomposites and their application in self-cleaning textiles. **Journal of Materials Chemistry**, v. 17, n. 33, p. 3504, 2007.

RAJAPAKSE, GAMINI, H., Chaminda; THILAKARATHNE, NIRODHA, S., Dharshana; ABEYSOORIYA, NAMAL. **Novel and Improved Biodegradable Face Mask with Inherent Virucide, Hydrophobic and Hidrophillic Properties with Adjustable Ear Loops** University of Peradeniya, 2021. Disponível em: <[https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021229444&\\_cid=P10-L0JJBB-21996-1](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021229444&_cid=P10-L0JJBB-21996-1)>

RAMASESHAN, R. et al. Functionalized polymer nanofibre membranes for protection from chemical warfare stimulants. **Nanotechnology**, v. 17, n. 12, p. 2947–2953, 28 jun. 2006.

RAVINDRA, S. et al. Fabrication of antibacterial cotton fibres loaded with silver nanoparticles via “Green Approach”. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 367, n. 1–3, p. 31–40, set. 2010.

REBMANN, T.; CARRICO, R.; WANG, J. Physiologic and other effects and compliance with long-term respirator use among medical intensive care unit nurses. **American Journal of Infection Control**, v. 41, n. 12, p. 1218–1223, dez. 2013.

RENEKER, D. H.; CHUN, I. Nanometre diameter fibres of polymer, produced by electrospinning. **Nanotechnology**, v. 7, n. 3, p. 216–223, 1 set. 1996.

RENGASAMY ET AL. Simple Respiratory Protection—Evaluation of the Filtration Performance of Cloth Masks and Common Fabric Materials Against 20–1000 nm Size Particles. **The Annals of Occupational Hygiene**, 28 jun. 2010.

RENGASAMY, S. et al. A comparison of total inward leakage measured using sodium chloride (NaCl) and corn oil aerosol methods for air-purifying respirators. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 15, n. 8, p. 616–627, 3 ago. 2018.

RENGASAMY, S.; NIEZGODA, G.; SHAFFER, R. Flammability of Respirators and other Head and Facial Personal Protective Equipment. **Journal of the International Society for Respiratory Protection**, v. 35, n. 1, p. 1–13, 2018.

ROBERGE, R. J. Face shields for infection control: A review. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 13, n. 4, p. 235–242, 2 abr. 2016.

RODRIGUEZ-MARTINEZ, C. E.; SOSSA-BRICEÑO, M. P.; CORTÉS, J. A. Decontamination and reuse of N95 filtering facemask respirators: A systematic review of the literature. **American Journal of Infection Control**, v. 48, n. 12, p. 1520–1532, dez. 2020.

RUIZ-HITZKY, E. et al. Nanotechnology Responses to COVID-19. **Advanced Healthcare Materials**, v. 9, n. 19, p. 2000979, out. 2020.

SABINE RIGHETTI, E. G. China passa EUA e lidera produção de ciência mundial pela primeira vez. dez. 2021.

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

SANDY CHEN; STEPHEN DEVINE. **Viral active and/or anti-microbial links and coatings**, 17 nov. 2021. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/071135354/publication/GB2595012A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>>

SANTARPIA, J. L. et al. **Transmission Potential of SARS-CoV-2 in Viral Shedding Observed at the University of Nebraska Medical Center**. [s.l.] *Infectious Diseases (except HIV/AIDS)*, 26 mar. 2020. Disponível em: <<http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.03.23.20039446>>. Acesso em: 8 set. 2021.

SHAKYA, K. M. et al. Evaluating the efficacy of cloth facemasks in reducing particulate matter exposure. **Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology**, v. 27, n. 3, p. 352–357, maio 2017.

SHAN, X. et al. Reusable Self-Sterilization Masks Based on Electrothermal Graphene Filters. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 12, n. 50, p. 56579–56586, 16 dez. 2020.

SIVRI, Ç. Improvement of protective and comfort properties of face masks using superabsorbent polymer containing nanofibers. **International Journal of Clothing Science and Technology**, v. 30, n. 5, p. 668–686, 18 set. 2018.

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, 1 jul. 2014.

SOARES, S. et al. Nanomedicine: Principles, Properties, and Regulatory Issues. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, p. 360, 2018.

SOENEN, S. J. et al. Cellular toxicity of inorganic nanoparticles: Common aspects and guidelines for improved nanotoxicity evaluation. **Nano Today**, v. 6, n. 5, p. 446–465, out. 2011.

SOLIMAN, S. et al. Controlling the porosity of fibrous scaffolds by modulating the fiber diameter and packing density. **Journal of Biomedical Materials Research Part A**, v. 96A, n. 3, p. 566–574, 1 mar. 2011.

SONI, R. et al. Superhydrophobic and Self-Sterilizing Surgical Masks Spray-Coated with Carbon Nanotubes. **ACS Applied Nano Materials**, v. 4, n. 8, p. 8491–8499, 27 ago. 2021.

STELZER-BRAID, S. et al. Exhalation of respiratory viruses by breathing, coughing, and talking. **Journal of Medical Virology**, v. 81, n. 9, p. 1674–1679, set. 2009.

SUNG, H.-W.; SONAJE, K.; FENG, S.-S. Nanomedicine for diabetes treatment. **Nanomedicine (London, England)**, v. 6, n. 8, p. 1297–1300, out. 2011.

SWAMINATHAN, M.; SHARMA, N. K. Antimicrobial Activity of the Engineered Nanoparticles Used as Coating Agents. In: MARTÍNEZ, L. M. T.; KHARISSOVA, O. V.; KHARISOV, B. I. (Eds.). . **Handbook of Ecomaterials**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 549–563.

SWENNEN, G. R. J.; POTTEL, L.; HAERS, P. E. Custom-made 3D-printed face masks in case of pandemic crisis situations with a lack of commercially available FFP2/3 masks. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 49, n. 5, p. 673–677, maio 2020.

TANG HAOZHE; LUO SHIMEI. **Antibacterial and environment-friendly mask containing zedoary oil nano-particle coating and preparation method thereof**, 30 nov. 2018. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/064394383/publication/CN108903087A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20>

all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>

TCHARKHTCHI, A. et al. An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. **Bioactive Materials**, v. 6, n. 1, p. 106–122, jan. 2021.

TEBYETEKERWA, M. et al. Electrospun Nanofibers-Based Face Masks. **Advanced Fiber Materials**, v. 2, n. 3, p. 161–166, jun. 2020.

TSAI, P. Performance of Masks and Discussion of the Inactivation of SARS-CoV-2. **Engineered Science**, 2020.

UDDIN, MOHAMMED JASIM, J., Jared; MOORE, H.JUSTIN. **Metal Nanoparticle Enhanced Semiconductor Film for Functionalized Textiles**The Board of Reagents, The University of Texas System, 8 out. 2020. Disponível em: <[https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US307239798&\\_cid=P10-L0JJBB-21996-1](https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US307239798&_cid=P10-L0JJBB-21996-1)>

ULLAH, S. et al. 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, 24 jul. 2020.

USING, P., SPHERES, L.,. **Specification for Performance of Materials Used in Medical Face Masks**. [s.l.] ASTM International, 2005. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?F2100-11>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

USP -UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO; ICB - INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS. **Máscara cirúrgica antiviral**, out. 2020. Disponível em: <<https://ww3.icb.usp.br/mascara-cirurgica-antiviral-desenvolvida-em-parceria-usp-empresa-permite-uso-prolongado-por-12-horas/>>. Acesso em: 21 nov. 2021

VALAPERTA, R. et al. Staphylococcus aureus nosocomial infections: the role of a rapid and low-cost characterization for the establishment of a surveillance system. **New Microbiologica**, v. 33, n. 3, p. 223–232, 2010.

VALDEZ-SALAS, B. et al. Promotion of Surgical Masks Antimicrobial Activity by Disinfection and Impregnation with Disinfectant Silver Nanoparticles. **International Journal of Nanomedicine**, v. Volume 16, p. 2689–2702, abr. 2021.

VALDIGLESIAS, V.; LAFFON, B. The impact of nanotechnology in the current universal COVID-19 crisis. Let's not forget nanosafety! **Nanotoxicology**, v. 14, n. 8, p. 1013–1016, 13 set. 2020.

VAN DER SANDE, M.; TEUNIS, P.; SABEL, R. Professional and Home-Made Face Masks Reduce Exposure to Respiratory Infections among the General Population. **PLoS ONE**, v. 3, n. 7, p. e2618, 9 jul. 2008.

VAN DOREMALEN, N. et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 16, p. 1564–1567, 16 abr. 2020.

VAN NUNEN, K. et al. Bibliometric analysis of safety culture research. **Safety Science**, v. 108, p. 248–258, out. 2018.

VELAVAN, T. P.; MEYER, C. G. The COVID-19 epidemic. **Tropical medicine & international health: TM & IH**, v. 25, n. 3, p. 278–280, mar. 2020.

WANG, N. et al. Electret nanofibrous membrane with enhanced filtration performance and wearing comfortability for face mask. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 530, p. 695–703, nov. 2018.

WANG, Q.; YU, C. The role of masks and respirator protection against SARS-CoV-2. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, v. 41, n. 6, p. 746–747, jun. 2020.

WANG, R. et al. The characteristics and photocatalytic activities of silver doped ZnO nanocrystallites. **Applied Surface Science**, v. 227, n. 1–4, p. 312–317, abr. 2004.

WANG, R. et al. Rechargeable polyamide-based *N*-halamine nanofibrous membranes for renewable, high-efficiency, and antibacterial respirators. **Nanoscale Advances**, v. 1, n. 5, p. 1948–1956, 2019.

WANG YONG et al. **Um tipo de máscara antiviral reciclável e seu método de preparação**, 23 nov. 2021. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/078583606/publication/CN113679124A?q=%28ctxt%20all%20%22Nanotechnology%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanoparticle%22%20OR%20ctxt%20all%20%22Nanomaterial%22%29%20AND%20%28ctxt%20all%20%22antiviral%22%20OR%20ctxt%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>>

WEISS, C. et al. Toward Nanotechnology-Enabled Approaches against the COVID-19 Pandemic. **ACS Nano**, v. 14, n. 6, p. 6383–6406, 23 jun. 2020.

WEST, R. et al. Applying principles of behaviour change to reduce SARS-CoV-2 transmission. **Nature Human Behaviour**, v. 4, n. 5, p. 451–459, maio 2020.



20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%  
2F11%22>

ZHONG, H. et al. Reusable and Recyclable Graphene Masks with Outstanding Superhydrophobic and Photothermal Performances. **ACS Nano**, v. 14, n. 5, p. 6213–6221, 26 maio 2020.

ZHOU, J. et al. Infection of bat and human intestinal organoids by SARS-CoV-2. **Nature Medicine**, v. 26, n. 7, p. 1077–1083, jul. 2020.

ZHOU, S. S. et al. Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. **Journal of Thoracic Disease**, v. 10, n. 3, p. 2059–2069, mar. 2018.

ZHU, M. et al. Electrospun Nanofibers Membranes for Effective Air Filtration. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 302, n. 1, p. 1600353, jan. 2017.

ZIEGLER, C. G. K. et al. SARS-CoV-2 Receptor ACE2 Is an Interferon-Stimulated Gene in Human Airway Epithelial Cells and Is Detected in Specific Cell Subsets across Tissues. **Cell**, v. 181, n. 5, p. 1016- 1035.e19, 28 maio 2020.

ZOU, Z.; YAO, M. Airflow resistance and bio-filtering performance of carbon nanotube filters and current facepiece respirators. **Journal of Aerosol Science**, v. 79, p. 61–71, jan. 2015.

o Zotero.

