



Nano equipamento de proteção individual contra SARS-CoV-2: Insights de uma análise bibliométrica de publicações e patentes recentes

Meliza da Conceição Oliveira*; Virginia Campello Yurgel*; Daniela Pastorim Vaiss*; Paula Alice Barros*; Cristiana Lima Dora*.

*Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brazil.

*Autor para correspondência e-mail: melizacoliveira@hotmail.com

Palavras-chave

Nanotecnologia
EPI
Máscaras
Antivirais

Keywords

Nanotechnology
Ppe
Face masks
Antivirals

Resumo: No contexto da COVID-19, uma doença altamente contagiosa, o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) é de grande importância, tanto pelos profissionais de saúde quanto pela comunidade em geral. Como a transmissão do vírus se dá por inalação ou contato direto com gotículas infecciosas, o uso de EPIs, principalmente máscaras faciais, tornou-se o “novo normal” para as sociedades. No entanto, para melhorar o potencial de filtragem e eliminação de vírus, bem como a respirabilidade e conforto das máscaras, muitos estudos têm sido realizados nesta área. Este trabalho avaliou artigos e patentes sobre o tema EPI nanotecnológico por meio de uma análise bibliométrica. Os dados foram coletados de 2016 a 2021, extraídos de bases de dados como PubMed e Web Of Science, e analisados por meio de técnicas bibliométricas. Além disso, foi realizada uma revisão de patentes para avaliar as invenções atuais relacionadas à máscara de proteção. Os resultados mostram que os EUA produziram o maior número de publicações acadêmicas relacionadas à nanotecnologia e equipamentos de proteção individual, sendo que a Índia e o Brasil também se destacaram no número de publicações. Entre os nanomateriais mais discutidos para associação em EPI estão as nanopartículas e nanofibras metálicas, principalmente as nanopartículas de prata. Além disso, por meio dos resultados, destacou-se o aumento de publicações sobre o tema nos últimos anos, e acredita-se que o crescimento continuará por tempo indeterminado, devido à prevenção de pandemias atuais e futuras.

Nano personal protective equipment against SARS-CoV-2: Insights from a bibliometric analysis of recent publications and patents

Abstract: In the context of COVID-19, which is a highly contagious disease, the use of personal protective equipment (PPE) is of great importance, both by health professionals and the community in general. As the transmission of the virus is done by inhalation or direct contact with infectious droplets, the use of PPE, especially face masks, has become the “new normal” for societies. However, to improve the filtering and elimination potential of viruses, as well as the breathability and comfort of masks, many studies have been performed in this area. This work evaluated articles and patents on the topic of nanotechnological PPE through a bibliometric analysis. Data were collected from 2016 to 2021, extracted from databases such as PubMed and Web of Science, and analyzed using bibliometric techniques. In addition, a patent review was carried out to assess current inventions related to the protective mask. The results show that the USA produced the largest number of academic publications related to nanotechnology and personal protective equipment, and India and Brazil also stood out in the number of publications. Among the most discussed nanomaterials for association in PPE were metallic nanoparticles and nanofibers, especially silver nanoparticles. In addition, through the results, the increase in publications on the subject in recent years was highlighted, and it is believed that growth will continue indefinitely, due to the prevention of current and future pandemics.

Recebido em: 10/08/2023

Aprovação final em: 20/10/2023



Introdução

A nanotecnologia (NT) vem se destacando por ser aplicada em diversos setores e em diversas áreas científicas, apresentando crescimento constante nos últimos tempos (KOSTARELOS, 2020; SALVADOR-MORALES; GRODZINSKI, 2022). Se define a nanotecnologia como a compreensão de processos e fenômenos, bem como a aplicação da ciência e tecnologia a organismos, materiais orgânicos e inorgânicos, usando sua escala nanométrica, para que possa ser usada em novas aplicações (FRIEDRICH, S. AND B. VAN BEUZEKOM, 2018; VALENZUELA-FERNÁNDEZ et al., 2022).

Estudos relacionados ao uso de nanomateriais em tecidos têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, pois esses materiais possuem propriedades únicas, como tamanho reduzido, multifuncionalidade e solubilidade adequada, características que conseqüentemente melhoram a eficiência dos têxteis, tornando-os tecidos mais eficazes e seguros (FORNAGUERA; GARCÍA-CELMA, 2017; PHUNA et al., 2023; SOARES et al., 2018). O estudo de Chua et al. (2020) revisa o uso do NT para incorporação em roupas de proteção, por exemplo, EPIs, pois o NT pode conferir novas características aos tecidos utilizados. Além disso, outros autores relatam que a aplicação de nanomateriais em tecidos aumenta a eficiência da filtração; entretanto, pode aumentar o custo de fabricação (DE ARAÚJO ANDRADE et al., 2021; MORAJKAR et al., 2022). No entanto, com as necessidades da atual pandemia de COVID-19, o custo de aplicação dessa tecnologia pode não se tornar um fator crucial, uma vez que a nanotecnologia pode ser eficaz na proteção e prevenção do SARS-CoV-2 (BALACHANDAR et al., 2020; MUTHIAH et al., 2022).

Este trabalho avaliou artigos e patentes sobre o tema EPI nanotecnológico por meio de uma análise bibliométrica. A análise bibliométrica é uma técnica analítica eficaz para o uso de pesquisas atuais, e a bibliometria pode analisar a estrutura, as fontes e as propriedades de um tema, avaliando a frequência e as conexões escalares na literatura (VAN NUNEN et al., 2018). Além disso, por meio da análise bibliométrica, é possível identificar fragilidades e fortalezas no desenvolvimento dos temas, além de organizar, analisar e explorar os dados, identificar caminhos que possam auxiliar os pesquisadores na tomada de decisões e determinar os autores, países mais confiáveis e organizações em um tema específico (DAIM et al., 2006; MAO et al., 2018).

Portanto, o objetivo principal da análise foi verificar os nanomateriais utilizados para o desenvolvimento de EPI, os países que mais contribuem com a pesquisa, e as universidades, pesquisadores e periódicos que tratam do assunto com mais frequência. Essas informações são importantes, pois podem servir de base para futuros estudos sobre o desenvolvimento e as origens nacionais dos EPIs nanotecnológicos.

Metodologia

A coleta de informações para realizar a análise bibliométrica das publicações foi feita por meio das bases de dados PubMed e Web of Science (WOS). No presente estudo, foi realizada uma consulta com os descritores "nanotecnologia" AND "equipamentos de proteção individual". Como esse tema começou a ganhar relevância ao longo dos anos, a consulta se limitou à busca de artigos publicados de 2016 a 2021. Todos os registros pertinentes à pesquisa foram incluídos no estudo. Foram excluídos os documentos que não correspondiam aos descritores.

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

Os documentos foram processados com o auxílio do software EndNote 20 para que as duplicatas presentes no conjunto de dados fossem primeiramente eliminadas. Em seguida, os dados foram refinados e os bancos de dados PubMed e WOS foram integrados. Por meio do software, foi possível exportar dados descritivos sobre os documentos para identificar parâmetros como número de artigos publicados por ano, autor e periódico.



Em relação à extração de dados, eles foram baixados no formato MEDLINE da base de dados PubMed. No banco de dados WOS, os dados foram baixados em um formato delimitado por tabulação para identificar links de citação, acoplamento bibliográfico e cocitação entre itens. Os dados sobre o número de publicações por país e os tipos de nanomateriais mais comumente encontrados foram tabulados e visualizados no Microsoft Excel 2013.

Esses dados foram importados e carregados no software VOSviewer versão 1.6.17 para visualizar as tendências de publicação de organizações, autores e palavras-chave e para explorar mapas bibliométricos relacionados aos dados. O mapa bibliométrico criado pelo VOSviewer inclui itens que são objetos de interesse sobre organizações, palavras-chave e autores. Entre um par de itens, pode haver um link (uma linha) que indica um relacionamento. Quanto mais próximas estiverem as linhas entre dois itens, quanto mais forte for a relação entre eles. Os itens também podem ser agrupados em clusters, que se referem a um conjunto de itens incluídos em um mapa. A cor de um item é determinada por um padrão de cores que se refere à pontuação do item; a cor varia de azul (pontuação mais baixa) a verde (pontuação média) e amarelo (pontuação mais alta), então a barra de cores indica como as pontuações são mapeadas.

A análise das patentes foi realizada por meio de duas bases de dados de patentes, Espacenet e WIPO, sendo escolhidas aquelas depositadas entre 2016 e 2021. A busca por patentes foi realizada utilizando a combinação de descritores e o código da Classificação Internacional de Patentes (IPC). Portanto, 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 refere-se a máscaras faciais de proteção profissional, industrial e esportiva. As patentes foram visualizadas para coleta de dados e análise de documentos duplicados usando o software Zotero.

Resultados e Discussão

Foi possível observar que tanto nas publicações quanto nas patentes, há uma tendência crescente em relação ao número de publicações por ano, sendo a diferença visível na comparação entre 2016 e 2021. É acredita-se que isso tenha ocorrido devido à atual pandemia de COVID-19, com o consequente aumento do uso de equipamentos de proteção individual (EPI) e a busca por novas tecnologias que aprimorem os EPI. Atendendo ao intuito de melhorar a eficiência e consequentemente a segurança do equipamento, visto que se tornou uma das principais intervenções não farmacológicas para prevenção de doenças (DE ARAÚJO ANDRADE et al., 2021; LEUNG et al., 2020; MORAJKAR et al., 2022).

Em relação aos descritores "nanotecnologia" AND "equipamentos de proteção individual", no período 2016-2021, foram encontrados 83 artigos nas bases de dados pesquisadas, sendo 47 artigos encontrados no PubMed e 36 no WOS; no entanto, 42 artigos foram excluídos por motivos de repetição e tópicos que não correspondiam aos descritores. Portanto, para esta pesquisa, foi realizada uma análise de 41 artigos publicados em periódicos acadêmicos, incluindo artigos de pesquisa e revisões de literatura.

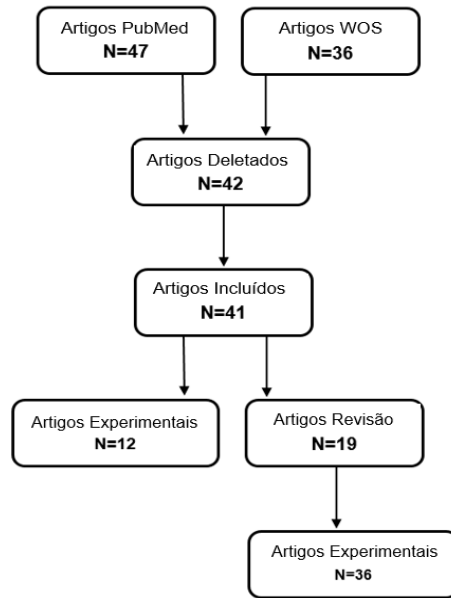
Dos artigos incluídos, foram contabilizados 12 artigos experimentais e 29 artigos de revisão de literatura. Nestes, foi realizada uma análise nas referências dos mesmos para encontrar trabalhos experimentais em relação aos nanomateriais incorporados em equipamentos de proteção individual. Foram publicados 42 artigos de pesquisa, conforme ilustrado na Figura 1.

Foi constatado que nos últimos anos houve uma tendência de aumento de artigos publicados relacionados à nanotecnologia e EPIs, principalmente em 2020 e 2021, com 10 e 26 artigos publicados, respectivamente. Em 2016, 2017 e 2018, foi encontrado um artigo para cada ano em relação ao tema, conforme ilustrado na Figura 2.

Com relação à busca de patentes, 38 patentes foram encontradas pela avaliação preliminar em ambas as bases de dados. Dez estavam duplicados e 11 foram excluídos por não apresentarem o tema da pesquisa. Como os códigos do ICP abrangem vários tipos de proteção facial, foram encontradas máscaras faciais que não correspondiam ao uso em saúde, além de não relatar o uso de nanomateriais. As patentes relacionadas ao tema foram depositadas em 2020 e 2021, com 3 e 11 patentes, respectivamente (Figura 2).

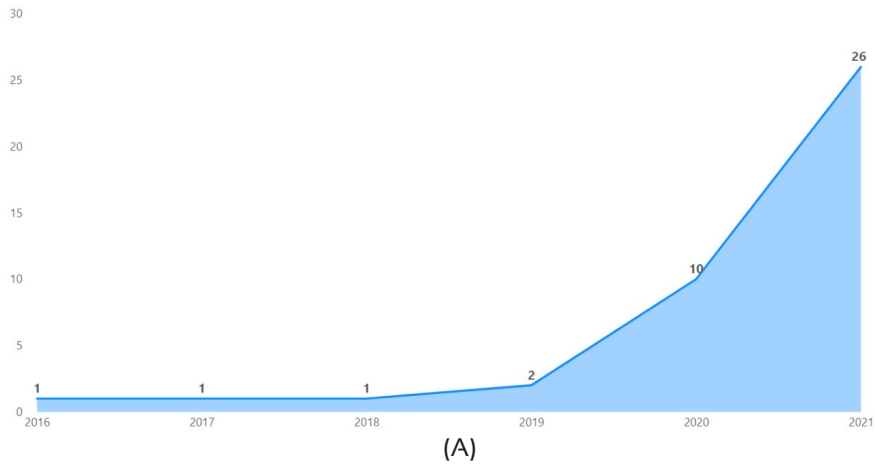


Figura 1 - Diagrama de fluxo referente aos artigos presentes na revisão.

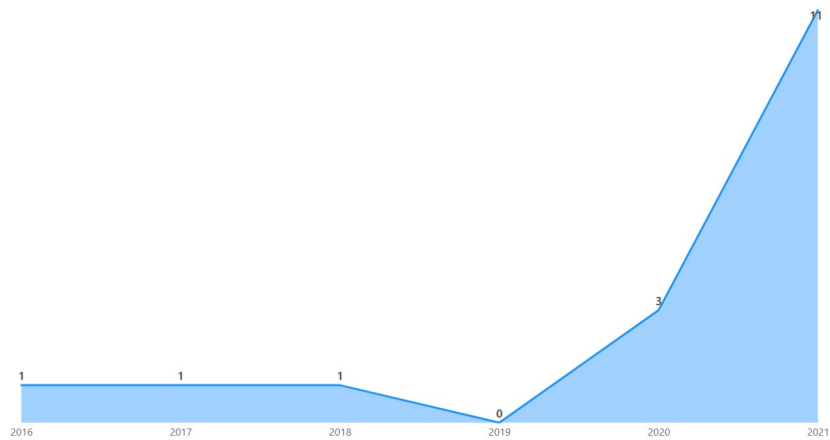


Fonte: Elaboração Própria.

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



(A)



(B)

Fonte: Elaboração Própria.



De acordo com as publicações encontradas nas bases de dados relacionadas à nanotecnologia e equipamentos de proteção individual, os principais países foram identificados e estão destacados na Figura 3. Os EUA tiveram o maior número de publicações, com sete artigos publicados no período de 2016-2021. Índia (6), Brasil (3) e Irã (3) também se destacaram entre os países que mais publicaram nessa área. Itália, Reino Unido, Espanha, Coreia do Sul, Alemanha e Canadá tiveram, cada um, uma ou duas publicações. Das 17 patentes incluídas na pesquisa, 8 eram de inventores chineses, 1 era dos Estados Unidos e outra da Coreia do Sul.

Figura 3 - Número de artigos publicados por países na área de nanotecnologia relacionados a EPIs



Fonte: Elaboração Própria.

Muito provavelmente, os EUA se destacam nas publicações devido à necessidade que o país apresentou durante a pandemia do COVID-19 devido à escassez de EPIs, que consequentemente colocam em risco a população em geral, como pacientes e profissionais de saúde (GONDI *et al.*, 2020){"family": "He", "given": "Shuhan"}, "issued": {"date-parts": [{"2020"}]}}, "schema": "https://github.com/citation-style-language/schema/raw/master/csl-citation.json". Além disso, os EUA tiveram um grande número de casos de contaminação, além de altos números de mortes por SARS-CoV-2 (CHOWELL; MIZUMOTO, 2020). É importante destacar que os EUA e a China são os países com maior produção científica, sendo que os americanos em 2020 já tinham mais de 750.000 artigos publicados. Isso é resultado do investimento do país em pesquisas científicas em geral, além dos EUA serem uma das potências econômicas e políticas mundiais (SABINE RIGHETTI, 2021).

Depois dos EUA, Índia (com seis artigos publicados), Brasil, Irã e Arábia Saudita (três artigos publicados por país) foram os países mais produtivos em relação ao tema. No Brasil, que também passou por momentos difíceis relacionados à pandemia, com altos números de casos ativos e óbitos, e na Índia, esses fatos podem ter motivado pesquisadores na busca por novas tecnologias. Diferentemente dos resultados obtidos para as publicações de artigos, observou-se que das 17 patentes incluídas na pesquisa, 8 eram de inventores chineses, 1 era de titularidade dos Estados Unidos e outra da Coreia do Sul. Segundo a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), a China, mesmo diante de uma pandemia global, manteve-se no topo dos principais países requerentes de patentes, seguida pelos EUA e Coreia do Sul (Tabela 1).

Em seguida, selecionamos todas as organizações pertencentes aos documentos encontrados e as visualizamos em uma rede de sobreposição usando o software VOSviewer. Foi gerada uma rede com 818 links, referente ao relacionamento entre duas organizações. Quarenta clusters foram contados, com um conjunto de 212 itens incluídos no mapa. Além disso, por meio da barra de cores, foi possível avaliar as tendências de organizações que realizam pesquisas relacionadas a nanomateriais, portanto, a cor verde da rede representa que 2020 e 2021 contemplaram as maiores contribuições dessas instituições relacionadas ao tema. Com maior estratificação da rede de organizações, observou-se que as instituições americanas tiveram maior destaque neste período de estudo (2020-2021), corroborando os dados demonstrados anteriormente.

**Tabela 1 - Nanomateriais aplicados em EPI em patentes de diferentes países.**

NANOMATERIAL	PRODUTO	APLICAÇÃO	PAÍS	REFERÊNCIAS
Nanopartículas de Prata	Máscaras Transparente	Propriedades antibacterianas e antivirais	China	(Chen Guangchuan; Yu Hongguang; Li Mengting, 2020)
Nanofiltros	Equipamentos de proteção individual	Propriedades antibacterianas e antivirais	Grécia	(Logothetis, Stergios; Karagkiozaki, Varvara; Orfanos, Alexandro, 2021)
Nanopartículas de Cloreto de Sódio, Cloreto de Magnésio, Cloreto de Zinco, Cloreto de Potássio	Máscara Facial	Propriedades antibacterianas e antivirais	Coréia do Sul	(Byeon Jeong Hoon, 2021)
Grafeno	Máscara Facial	Propriedades antibacterianas e antivirais	China	(Liu Mingjiang, 2020)
Zedoary oil polymeric nanoparticles	Máscara Ecologica e Antibacteriana	Propriedades antibacterianas e antivirais	China	(Tang Haozhe; Luo Shimei, 2018)
Silver Nanoparticles, Zinc Oxide, Copper Oxide	Máscara de Proteção Médica	Propriedades antibacterianas e antivirais	China	(Fan Jiaona; Fan Lina, 2021)
Nanofibras	Máscaras de Gaze	Aumentar a filtragem de partículas	China	(Lin Tong et al., 2017)
Nanopartículas com Dióxido de Titânio e Quitosana	Máscara Antiviral	Propriedades antibacterianas e antivirais	China	(Wang Yong et al., 2021)
Grafeno ou Nanopartículas de Óxido de Grafeno	Máscara Facial e tecidos	Propriedades antibacterianas e antivirais	Reino Unido	(Sandy Chen; Stephen Devine, 2021)
Nanodiamantes	Máscara com camada de proteção	Aumentar a filtração de partículas; Propriedades antimicrobianas	China	(Yiu, Yau Chuen et al., 2021)
Flores em forma de grafeno	Máscara Facial e tecidos	Aumentar a filtração de partículas; Propriedades antimicrobianas	China	(Hao Sijia et al., 2021)
Nanopelets de Grafeno	Tecidos	Aumentar a filtração de partículas; Propriedades antimicrobianas.	Italia	(Cesareo, Giulio Giuseppe, 2021)
Grafeno	Mascara Facial e Tecidos	Aumentar a filtração de partículas; Propriedades antimicrobianas.	Italia	(Cesareo, Giulio Giuseppe, 2021)
Nanofibras	Mascara Facial e Tecidos	Aumentar a filtração de partículas; Propriedades antimicrobianas.	Arabia Saudita	(Hasan, Shadi Wajih, 2021)
Nanopartículas Metálicas	Máscara Facial	Propriedades antibacterianas e antivirais	Turquia	(Kaya, Cengiz et al., 2016)
Dióxido de titânio, óxido de zinco, Carbonato de Cálcio e Nanopartículas de óxido de magnésio	Máscara Facial	Aumentar a filtragem de partículas	Ásia	(Rajapakse, Gamini; Thilakarathne, Nirodha; Abeysooriya, Namal, 2021)
Nanopartículas de Ouro e/ou prata	Tecidos	Offer antibacterial and antiviral properties	EUA	(Uddin, Mohammed Jasim; Moore, H.Justin, 2020)

Fonte: Elaboração Própria.



Em junho de 2021, uma nova Lei de Patentes foi proposta à China. As mudanças na legislação são reflexo da quarta emenda à Lei de Patentes de 1984 e visam fortalecer e dar maior importância ao sistema de propriedade intelectual no país, otimizar a aplicação dos direitos de patente e promover o uso de patentes, bem como a comercialização de invenções. Embora a pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2 tenha impactado vários setores em escala global, os avanços chineses nesse período são evidentes em termos de direitos de propriedade intelectual. De acordo com uma recente publicação da WIPO, a China continua no topo da lista dos maiores requerentes de pedidos de patente internacionais via Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT) e registrou 68.720 novos pedidos de patente em 2020. Esse número representa um aumento de 16,1% em relação ao ano anterior. No mesmo período, o Brasil registrou 697 novos pedidos de patente via PCT, o que corresponde a um aumento de 8,4% no volume de pedidos brasileiros. Isso demonstra os esforços do governo chinês em estimular ainda mais a inovação nacional (WIPO- WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION, 2021).

Além disso, o maior volume de pesquisa foi realizado pela Universidade Princesa Nourah Bint Abdulrahman, na Arábia Saudita, conforme ilustrado na Figura 4A; trata-se da maior universidade pública feminina do mundo. O grupo do departamento de química da universidade colaborou em duas publicações. A partir desse grupo de pesquisa, foi possível avaliar, por meio do mapa de rede do software VOSviewer, suas relações com outros departamentos de pesquisa da mesma universidade ou de outras universidades.

Dois grupos com 19 conexões entre departamentos, relacionando dois itens, são ilustrados na Figura 4B. Instituições americanas e indianas, ou seja, a Universidade da Califórnia e o Instituto de Tecnologia Guwahati, respectivamente, também se destacaram em suas publicações, juntamente com outras universidades nesses mesmos países. Instituições brasileiras, como UNESP, Universidade Estadual de Londrina e Universidade Federal de Sergipe, também foram encontradas em relação à pesquisa em EPIs nanotecnológicos.

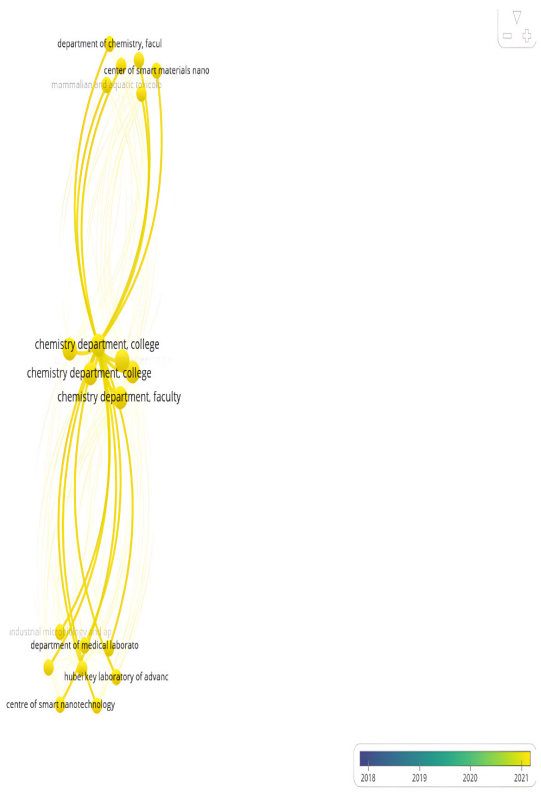
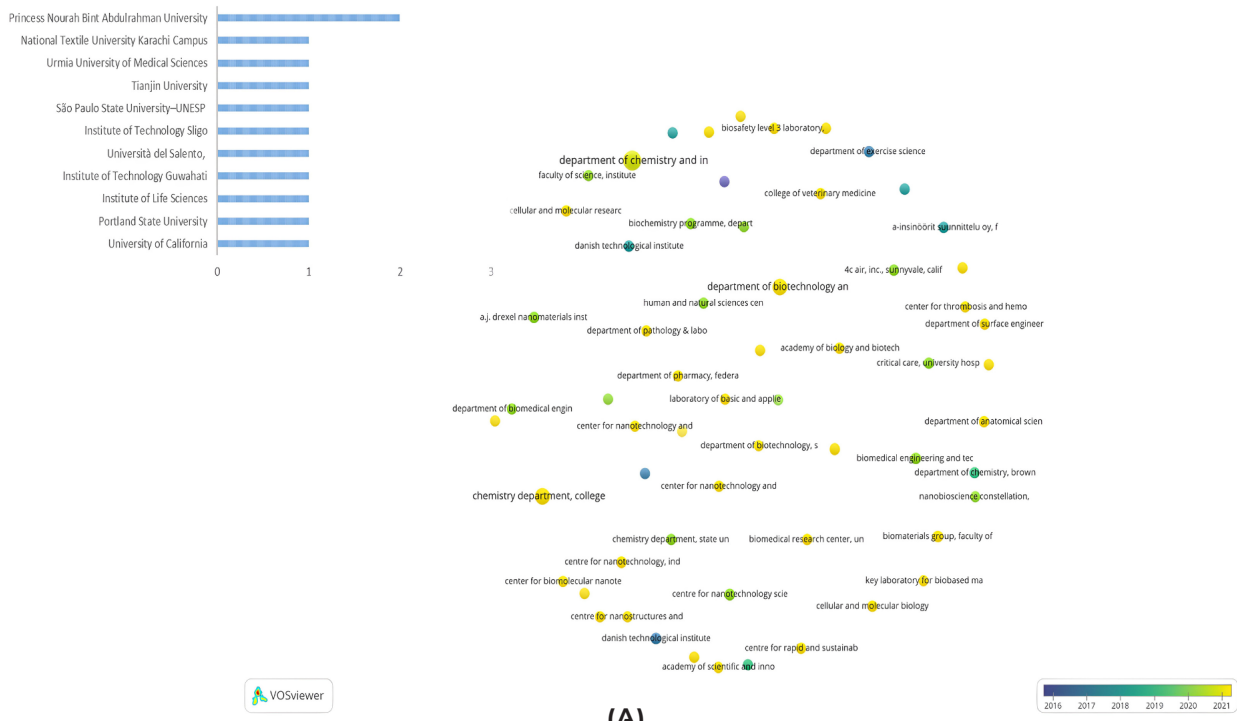
Após analisar os países mais produtivos em publicações e patentes, mostramos, na Figura 3, um mapa da análise das organizações dos autores das publicações obtidas por meio das bases de dados WOS e PubMed, realizada pelo software VOSviewer. Por meio desse software, são criados mapas bibliométricos compostos por elementos de análise, como itens, que são objetos de interesse na pesquisa. Uma conexão pode ser formada para cada par de itens (indicada por uma linha), o que indica uma relação entre dois itens. Os itens também podem ser agrupados em conjuntos chamados de clusters. Um item possui uma coloração padronizada pelo autor, referente à pontuação que o item apresenta, como demonstrado ao longo do estudo; a cor varia entre azul (pontuação mais baixa), verde (pontuação média) e amarelo (pontuação mais alta).

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 geradas 867 conexões, referentes às conexões ou relacionamentos entre dois autores, mas algumas das conexões não estavam conectadas entre si. Para as patentes, observou-se a presença de 16 clusters, contendo um conjunto com 47 itens. Ainda foi possível verificar a geração de 83 conexões, relacionadas às conexões entre dois inventores. Além disso, por meio da barra de cores, foram avaliadas as tendências dos autores/inventores em realizar a produção de patentes relacionadas a nanomateriais e equipamentos de proteção, destacando as cores verde e amarela, que mostram um maior número em 2020 e 2021.

Entre os autores destacados, podemos mencionar Parnia Forouzandeh, Kris O'Dowd and Suresh Pillai (2020), com dois artigos publicados entre os dados analisados, como autores e coautores na mesma publicação. Ambos são colaboradores do mesmo grupo de pesquisa, o grupo de pesquisa em nanotecnologia e bioengenharia, do Instituto de Tecnologia em Sligo, na Irlanda. O mesmo ocorre com autores como L. Alshabanah, L. Mutabagani, S. Abdallah, N. Shehata, M. Hagar e A. Hassanin, mas, ao contrário dos autores anteriores, eles fazem parte de diferentes grupos de pesquisa, bem como de diferentes países. Isso destaca que os principais autores pertenciam à Universidade Princesa Nourah Bint Abdulrahman, na Arábia Saudita.



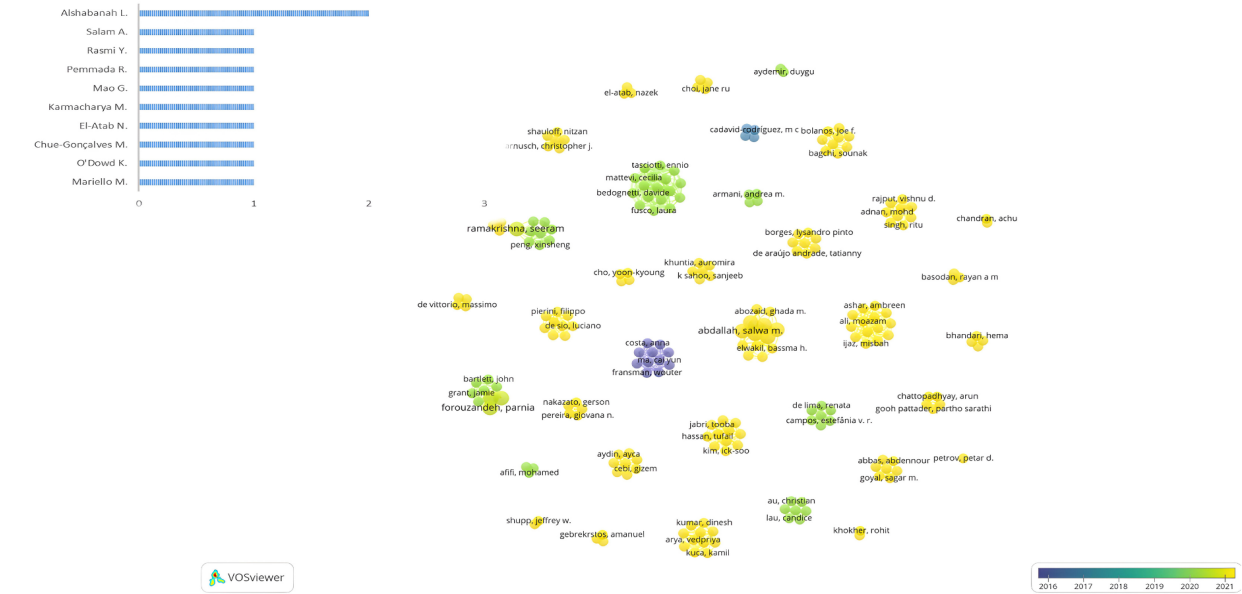
Figura 4 - (A) Rede e gráfico das organizações que publicam e realizam pesquisas no campo da nanotecnologia com relação à produção de equipamentos de proteção individual. (B) Rede relacionada ao departamento de pesquisa. As cores representam as organizações que mais publicaram por ano.



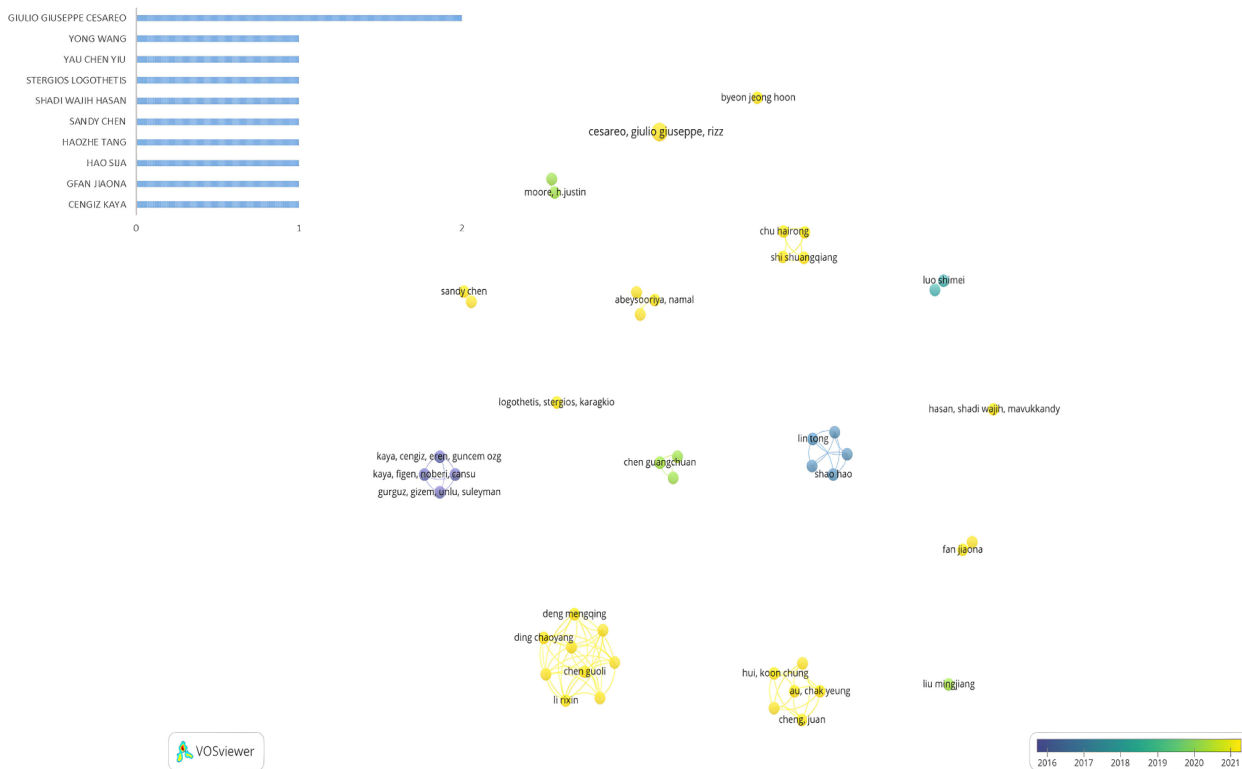
Fonte: Elaboração Própria.



Figura 5 - (A) Rede de autores/inventores de artigos que publicam e conduzem pesquisas no campo da nanotecnologia com relação à produção de equipamentos de proteção individual e (B) Rede de autores/inventores de patentes que publicam e conduzem pesquisas no campo da nanotecnologia com relação à produção de equipamentos de proteção individual.



(A)



(B)

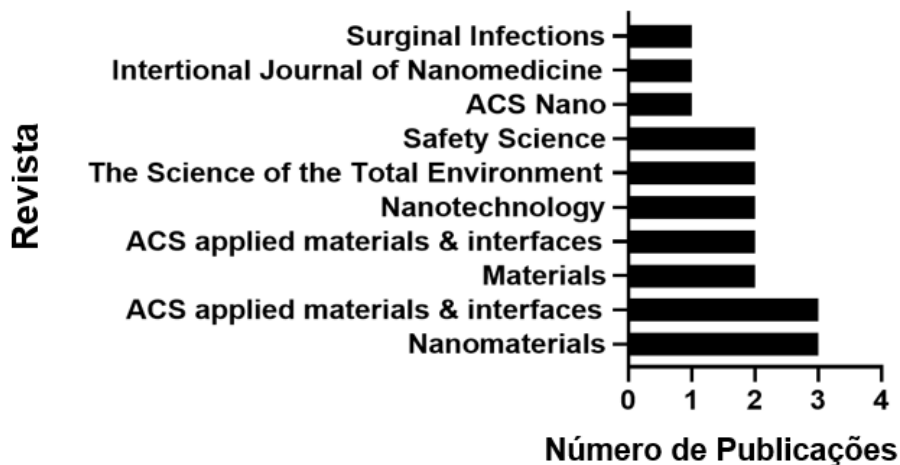
Fonte: Elaboração Própria.



Por meio de uma comparação, foi observado que o número de autores de publicações é maior do que o número de autores de patentes, o que se deve à quantidade de documentos encontrados na pesquisa realizada, uma vez que foram encontrados 41 artigos e 17 patentes. Um fato que foi igual em ambos os mapas (Figura 5) foi a tendência de publicações e patentes nos últimos dois anos, principalmente com uma grande tendência em 2021. Conforme discutido anteriormente, acredita-se que esses dados estejam diretamente relacionados à pandemia atual, além do fornecimento de equipamentos de proteção individual. Também é importante observar que nenhum autor foi encontrado que tenha publicado artigos e patenteado invenções nesta pesquisa.

Em relação às revistas que mais publicaram sobre o tema de nanotecnologia e EPIs, "Nanomaterials" e "ACS Applied Bio Materials" foram as que mais publicaram em ambos os bancos de dados entre as 31 revistas encontradas, com 3 publicações cada durante o período de 5 anos (2016-2021). "Nanotechnology", "Materials", "Safety Science" e "Science of the Total Environment" publicaram cada uma dois artigos relacionados ao tema da pesquisa. As demais revistas tiveram uma publicação cada uma. É importante destacar que as revistas que mais publicaram possuem acesso gratuito aos leitores e pesquisadores, promovendo e facilitando o acesso à pesquisa.

Figura 6 - Número de artigos publicados por revistas na área de nanotecnologia relacionada a EPIs.



Fonte: Elaboração própria.

Na análise das palavras-chave, verificamos uma rede com 1358 conexões, 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 à força das conexões, e como visto na Figura 7, linhas mais curtas e mais longas demonstram a distância das conexões e a força do relacionamento entre as palavras-chave. Assim, há uma maior distância entre as palavras-chave "COVID-19" e "anti-infective agent", tornando esse relacionamento mais fraco quando comparado a "COVID-19" e "masks", que estão próximas, demonstrando um relacionamento mais forte nos artigos publicados.

O tamanho do círculo do item no mapa também deve ser avaliado, pois se refere ao peso que o item tem na pesquisa, com "COVID-19", "SARS-CoV-2", "masks", "nanotechnology" e "pandemics" se destacando em termos de relevância dos itens. Além disso, por meio da barra de cores, é possível avaliar o número de palavras-chave utilizadas por ano. Assim, observou-se que em 2020 e 2021, as palavras-chave se tornaram mais relevantes, ao contrário dos anos anteriores, que estão em azul, corroborando o fato de que a pandemia acelerou a busca por novas tecnologias para a produção de EPIs.



zedoaria também foram pesquisadas para melhorar a eliminação de microorganismos sem afetar a respirabilidade, tornando-a segura e ecologicamente correta. O óleo de zedoaria, conhecido popularmente como cúrcuma zedoaria, é um sesquiterpenoide com aroma forte e atividade biológica, além de possuir capacidade antibacteriana. Além disso, nanopartículas de grafeno ou óxido de grafeno aplicadas aos EPIs têm sido produzidas para fornecer propriedades antivirais e/ou virucidas, reduzindo o risco de transmissão e infecção viral, e nanodiamantes (nanopartículas à base de carbono) oferecem melhor ação de filtragem de contaminantes atmosféricos na camada de filtragem da máscara. (HAO SIJIA *et al.*, 2021; SANDY CHEN; STEPHEN DEVINE, 2021; TANG HAOZHE; LUO SHIMEI, 2018; WANG YONG *et al.*, 2021; YIU, YAU CHUEN *et al.*, 2021).

Conclusão

Este trabalho apresentou um resumo bibliométrico das pesquisas de publicações e patentes que avaliaram o uso da nanotecnologia na produção de EPIs. Conclui-se que houve um crescimento notável na pesquisa relacionada ao assunto, especialmente em 2020 e 2021, devido ao período da pandemia e à necessidade de novas tecnologias que pudessem auxiliar no controle do vírus SARS-CoV-2. Os Estados Unidos têm sido um dos países mais favorecidos para colaboração em pesquisas sobre nanotecnologias e EPIs, juntamente com países como Índia e Brasil, mas a China permanece como o país com o maior número de registros de patentes. Entre os principais tipos de nanomateriais, tanto em publicações quanto em patentes, as nanopartículas de prata são os materiais mais estudados. Acredita-se que ao longo dos anos, as pesquisas sobre o tema do estudo continuarão a aumentar para a prevenção e controle de futuras pandemias.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e à Universidade Federal do Rio Grande (FURG) pela bolsa dos estudantes de pós-graduação e graduação.

Informações sobre Financiamento

Este estudo foi financiado pelo CNPq, CAPES e FURG.

Referências

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.

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>. Acesso em: 10 jan 2022.

CESAREO, GIULIO GIUSEPPE, R. L. G. **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-LOJBB-21996-1. Acesso em: 30 jan. 2022.

CESAREO, GIULIO GIUSEPPE, R. L. G. **Textile Article Comprising Graphene and Filters Comprising sair Textile Article**. Directa Plus S.P.A, 2 dez. 2021b. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2021239659&_cid=P10-LOJBB-21996-1. Acesso em: 30 jan. 2022.

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. Acesso em: 10 jan 2021.

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.

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?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>. Acesso em: 18 ago. 2022.

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.; 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. 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?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>. Acesso em: 30 jan. 2022.

HASAN, SHADI WAJIH, M., M. **Multifunctional Filter Materials**. Khalifa University of Science and Technology, 6 jan. 2022. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO20220034336_cid=P10-LOJBB-21996-1. Acesso em: 20 jun. 2022.

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=WO20160994176_cid=P10-LOJBB-21996-2. Acesso em: 10 jan 2021.

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

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.



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>>. Acesso em: 10 jan 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>. Acesso em: 10 jan 2021.

LOGOTHETIS, S., K., V.; KARAGKIOZAKI, V.; ORFANOS, A. **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>. Acesso em: 10 jan 2022.

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.

MORAJKAR, R. V. *et al.* Advances in nanotechnology application in biosafety materials: A crucial response to COVID-19 pandemic. **Biosafety and Health**, v. 4, n. 5, p. 347–363, out. 2022.

MUTHIAH, G. *et al.* Nanotechnology Toolkit for Combating COVID-19 and Beyond. **ChemNanoMat**, v. 8, n. 4, p. e202100505, abr. 2022.

PHUNA, Z. X. *et al.* Nanoprotection from SARS-COV-2: would nanotechnology help in Personal Protection Equipment (PPE) to control the transmission of COVID-19? **International Journal of Environmental Health Research**, v. 33, n. 7, p. 670–699, 3 jul. 2023.

RAJAPAKSE, GAMINI, H., C.; 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-LOJBB-21996-1. Acesso em: 10 jan 2021.

SABINE RIGHETTI, E. G. **China passa EUA e lidera produção de ciência mundial pela primeira vez. dez.** 2021. Folha do Estado de SP. Publicado em: 26 de dez. de 2021 Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2021/12/china-passa-eua-e-lidera-producao-de-ciencia-mundial-pela-primeira-vez.shtml> Acesso em: 14 jun. 2022.

SALVADOR-MORALES, C.; GRODZINSKI, P. Nanotechnology Tools Enabling Biological Discovery. **ACS Nano**, v. 16, n. 4, p. 5062–5084, 26 abr. 2022.

CHEN, S. W.; DEVINE, S. **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>. Acesso em: 10 jan 2021.



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

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%20all%20%22antibacterial%22%29%20AND%20ipc%20any%20%22A41D13%2F11%22>. Acesso em: 10 jan 2021.

UDDIN, MOHAMMED JASIM, J., Jared; MOORE, H. JUSTIN. **Metal Nanoparticle Enhanced Semiconductor Film for Functionalized Textiles**. The Board of Regents, The University of Texas System, 8 out. 2020. Disponível em: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US307239798&_cid=P10-LOJBB-21996-1. Acesso em: 10 jan 2021.

VALENZUELA-FERNÁNDEZ, A. *et al.* Nanomaterials to combat SARS-CoV-2: Strategies to prevent, diagnose and treat COVID-19. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, p. 1052436, 25 nov. 2022.

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

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>. Acesso em: 10 jan 2022.

WIPO- WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. **Innovation Perseveres: International Patent Filings via WIPO Continued to Grow in 2020 Despite COVID-19 Pandemic**. 2 mar. 2021. Disponível em: https://www.wipo.int/pressroom/en/articles/2021/article_0002.html

YIU, YAUCHUEN *et al.* **PROTECTIVE MASK, AIR FILTRATION ELEMENT AND AIR TREATMENT ELEMENT**. 19 ago. 2021. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/077295169/publication/WO2021160178A1?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>. Acesso em: 10 jan 2022.