

## A IMPORTÂNCIA DA NANOTECNOLOGIA NO ENFRENTAMENTO DA COVID-19

Augusto de Souza Silva<sup>1</sup>, João Paulo Carvalho de Lima <sup>2</sup>,  
Mariana Gabriela Mendes de Oliveira <sup>3</sup>, Maria Heloisa Costa<sup>4</sup>, Natalia Delfino da Silva<sup>5</sup>,  
Mysrayn Yargo de Freitas Araújo Reis<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Faculdade Nova Esperança, (augusto.gustinho04@gmail.com)

<sup>2</sup>Faculdade Nova Esperança, (joao\_paulojampa@hotmail.com)

<sup>3</sup>Faculdade Nova Esperança, (marigmenes96@gmail.com)

<sup>4</sup>Faculdade Nova Esperança, (heloisacosta\_4@live.com)

<sup>5</sup>Faculdade Nova Esperança, (natalia.delfs1@gmail.com)

<sup>6</sup>Professor Orientador da Faculdade Nova Esperança, (yargoaraujoo@hotmail.com)

### Resumo

**Introdução:** Os Coronavírus são RNA virais causadores de infecção respiratórias. Nos últimos vinte anos, dois deles foram responsáveis por epidemias a SARS e a MERS. Já o novo coronavírus, denominado SARS-CoV-2, que causa COVID-19, foi detectada pela a primeira vez em Wuhan, na China, no final de dezembro de 2019. Com a propagação do vírus em todo o mundo, em março de 2020 a Organização Mundial da Saúde declarou como uma pandemia causada pelo o novo coronavírus. Diante desse cenário, pesquisadores do mundo todo se voltaram para combater esse novo inimigo e a nanotecnologia se mostrou uma ferramenta necessária, desde a produção de diagnósticos rápidos até a produção de vacinas. **Objetivo:** Demonstrar a importância da nanotecnologia no enfrentamento a COVID-19. **Método:** Foi realizada uma revisão de literatura, artigos publicados nos últimos 5 anos tendo como bases de dados eletrônicos: Pubmed e BVS. Para o levantamento dos estudos foram utilizados os descritores: “Nanotecnologia”, “SARS-CoV-2”, “Coronavírus”, “Nanomaterias” nos idiomas português e inglês cadastrados nos descritores em Ciência da Saúde (DeCS). **Resultados:** A aplicação de nanotecnologia tem se beneficiado no campo do diagnóstico, como por exemplo a utilização de nanopartículas de ouro como também kits diagnósticos de fácil utilização. No princípio da terapia, as vacinas BNT162b2 e mRNA-1273 que incorporaram fragmentos do RNAmensageiro do vírus em nanopartículas lipídicas as duas vacinas obteve eficácia de 95% e 94,5% contra SARS-CoV-2, respectivamente. A nanotecnologia também foi estudada no âmbito da prevenção, nanopartículas metálicas foram empregadas em desinfetantes que obtiveram propriedades antimicrobiana e capacidade de autolimpeza, também foram utilizadas nanofibras em máscaras que filtram e capturam partículas nanométricas e infectantes. **Conclusão:** O desenvolvimento de sistemas de aplicação de antivirais baseados em nanotecnologia é uma estratégia potencial para melhorar a eficácia e segurança das terapias atuais, aumentando assim sua eficácia antiviral e reduzindo a sua toxicidade.

**Palavras-chave:** Nanotecnologia; SARS-CoV-2; Coronavírus; Nanomaterias.

**Área Temática:** Inovações e Tecnologias no Enfrentamento a COVID-19.

**Modalidade:** Trabalho completo

Os Coronavírus são RNA virais causadores de infecção respiratórias em uma variedade de animais, incluindo aves, morcegos, civeta, dromedário e pangolim. Os coronavírus são sazonais e costumam estar associados a síndromes semelhantes à gripes. Nas últimas duas décadas, dois deles foram responsáveis por epidemias mais virulentas de síndromes respiratória aguda grave (SRAG). Que foram denominadas de SARS e a Síndrome Respiratória do Oriente Médio (MERS), respectivamente. A SARS eclodiu em Hong Kong na China, em 2003, com uma taxa de mortalidade de 10%. Já a Síndrome Respiratória do Oriente Médio que ocorreu na Arábia Saudita em março de 2012 com letalidade de cerca de 30% (LANA, et al. 2020).

Diferente do SARS e MARS o novo coronavírus, denominado SARS-CoV-2, que causa COVID-19, foi detectada pela primeira vez em Wuhan, na China, no final de dezembro de 2019. Em janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) confirmou a circulação do novo coronavírus, e imediatamente declarou que a epidemia do novo coronavírus constituía uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) e posteriormente, com o alto contágio se alastrando em todos os continentes, no dia 11 de março a OMS declarou como uma pandemia (OLIVEIRA et al., 2020).

No Brasil, em 28 de janeiro de 2020, o Ministério da Saúde (MS) monitorava três casos suspeitos, mas, sem registros de casos confirmados. Já no final de fevereiro, o Brasil registrou seu primeiro caso, e dias depois registrou a primeira morte em decorrência do novo coronavírus. Inicialmente o MS não decretou “Estado de Emergência”, como já tinha sido decretado em outros países e pela OMS. Porém, já adotava campanhas de distanciamentos sociais, também aprimorou o monitoramento com testagem de síndromes gripais. E em abril, o governo federal junto ao Congresso Nacional adotaram a criação do auxílio emergencial, direcionado à população mais vulnerável, tentando minimizar a desigualdade social, em meio ao “lockdown” que foi adotado (BRASIL, 2020).

Dada a atual situação de saúde global, é necessário encontrar estratégias de diagnósticos rápido e terapias alternativas, como medicamentos naturais, vacinas ou outros agentes terapêuticos, com o objetivo de reduzir as infecções virais e aliviar os sintomas clínicos do novo coronavírus. Na atual conjuntura mundial, o investimento na descoberta de medicamentos e vacinas eficazes e seguras ainda é uma necessidade extremamente urgente para a humanidade.

A nanotecnologia é um campo relativamente novo da ciência que tem atraído a atenção

de cientistas devido ao seu enorme potencial em uma variedade de aplicações, desde a produção de energia até a aplicações biomédicas. O sistema baseado em nanotecnologia é útil em cirurgia de câncer, diagnóstico e terapia de câncer, bem como na identificação de marcadores moleculares de doença, tecnologia de implante, dispositivos de distribuição de drogas, etc (THARAYIL et al., 2021).

Portanto, nanotecnologia e nanobiossensores podem desempenhar um papel importante na produção de métodos de detecção escalonáveis e baratos. Os nanobiossensores podem ser usados como um ponto desafiador de ferramentas de diagnósticos de atendimento, mesmo antes dos sintomas terem sido mostrados em pacientes com cargas virais muito baixas (KHAN et al., 2021). O presente estudo tem como objetivo demonstrar a importância que a nanotecnologia tem no enfrentamento ao novo coronavírus.

## 2 MÉTODO

O presente estudo pode ser classificado como uma pesquisa descritiva utilizando-se do método de rastreamento teórico de revisão bibliográfica. Esse tipo de estudo explora integralmente a bibliografia publicada em busca de materiais que serão sistematizados, ordenados e interpretados afim de encontrar o cerne dos pensamentos e fundamentos dos autores.

Para a seleção do material foi realizada análises de artigos científicos de maior relevância publicados no período de 2015 a 2020, utilizando para isso os descritores cadastrados no Descritores em Ciência da Saúde (DeCS), sendo eles: “Nanotecnologia”, “SARS-CoV-2”, “Coronavírus”, “Nanomaterias” nos idiomas português e inglês: "Nanotechnology", "SARS-CoV-2", "Coronavírus", “Nanomaterials”. Para relacionar os termos da pesquisa, utilizou-se do operador lógico booleano “AND”. A coleta de dados foi realizada no mês de maio de 2021.

Para construir esse referencial teórico atualizado e de relevância, foram utilizados para coleta de dados sites científicos e bases de dados, tais como: PubMed e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). Inicialmente foram encontrados 158 artigos que se encaixaram na busca com os descritores selecionados. Posteriormente, foi utilizado o critério de inclusão e exclusão. Para o critério de exclusão, atribuiu-se aos estudos não relacionados com a temática e aqueles fora do período proposto. O critério de inclusão, fez-se de leitura atenta dos escritos, através de análise de seus resumos e eixos temáticos. Neste momento da pesquisa, levou-se em consideração relevância, metodologia, qualidade dos resultados e argumentos, avaliação e impacto dos resultados e conclusões. A partir desta análise, atingiu-se uma amostra de 19 artigos para o

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Nanopartícula e diagnóstico da COVID-19

As técnicas de diagnóstico laboratorial comumente aplicadas para COVID-19 incluem Molecular (RT-PCR / PCR em tempo real), testes sorológicos e cultura de células virais e radiografia de tórax ou tomografia computadorizada torácica. De todos os testes de laboratório, diagnóstico molecular é a forma mais recomendável e confiável para COVID-19, enquanto o teste de anticorpos mostra baixa sensibilidade e a cultura de células virais é demorada. Em suma, o diagnóstico clínico (temperatura corporal alta, tosse seca e dificuldade de respirar) e a história relacionada a uma localização geográfica específica (infectado com COVID-19) são os precursores primários do diagnóstico precoce do COVID-19, particularmente onde há um falta de ambiente laboratorial avançado (SARAVANAN et al., 2021).

A pesquisa e a aplicação de nanotecnologia têm se beneficiado muito com o campo do diagnóstico. Por exemplo, tem-se um kit diagnóstico baseado em nanotecnologia que pode ser aplicada ao conceito de *Point-of-Care* (POC), que fornece resultados precisos e rápidos de diagnósticos de uma forma muito simples, sem a necessidade de equipamentos de grande escala, e onde possível, o próprio paciente pode-se fazer o manuseio desse kit. Além disso, eles podem ser usados para fornecer diagnósticos em situações de emergência em comparação com os procedimentos convencionais de teste laboratorial. Esses sistemas estão em linha com a recente decisão da Organização Mundial da Saúde (OMS), que prioriza o diagnóstico genético ou proteico para COVID-19 com base no sistema POC (SAXENA et al., 2021).

Dessa forma, a Nanotecnologia pode e tem desempenhado um papel importante na fabricação de kits de diagnóstico rápido e preciso, como o sistema desenvolvido pelos pesquisadores Seo et al., que relataram um dispositivo de biossensor baseado em transistor de efeito de campo (FET) para detectar SARS-CoV-2 em amostras clínicas. O sensor foi produzido revestindo folhas de grafeno do FET com um anticorpo específico contra a proteína spike SARS-CoV-2. O desempenho do sensor foi determinado usando proteínas do antígeno, cultura de vírus e espécimes de esfregaços nasofaríngeo de pacientes com COVID-19. O FET conseguiu detectar a proteína spike em concentrações de 1 fg/ml em solução salina tamponada com fosfato e meio de transporte clínico 100fg/ml, que é considerado concentrações muitíssimo

Pesquisas realizadas por Mointra et al. (2020), relataram o uso das nanopartículas de ouro que detectam uma determinada proteína de sequência genética do vírus SARS-Cov-2. Essa interação se inicia quando o biossensor se liga à sequência gênica do vírus, e as nanopartículas de ouro são responsáveis pela transição do reagente líquido do roxo para o azul. Dessa forma, a mudança visual indicou o diagnóstico direto do vírus SARS-CoV-2 na amostra. Eles permitem o acoplamento de moléculas biológicas formando estruturas híbridas de nanopartículas de ouro biológicas, promovendo uma detecção do alvo do vírus. O sistema de diagnóstico baseado em nanopartículas de Bio-ouro mostra aumento do nível de sensibilidade do teste e uma melhor faixa de detecção que reduz o tempo de detecção.

Em outro grupo de pesquisa, Chen et al. (2020), relataram o uso de um chip de diagnóstico que usa nanopartículas de polímero de poliestireno para a detectar eficazmente anticorpos anti-SARS-COV-2 em amostra de soro humano. Um valor de 0,0666 foi definido como o valor de corte ao analisar 51 amostras normais. Os pesquisadores então testaram 7 amostras que foram positivas por transcrição reversa (RT-PCR) e 12 que foram negativas, mas clinicamente suspeitas para a presença de IgG anti-SARS-CoV-2. Uma das amostras negativas foi considerada positiva para o SARS-CoV-2 IgG, enquanto os resultados das outras amostras foram consistentes com os obtidos por RT-PCR. Assim, este ensaio pode atingir a detecção rápida e sensível de anti-SARS-CoV-2 IgG no soro humano e permitir a identificação positiva em casos suspeitos.

## **Nanopartículas na terapia contra COVID-19**

Desde o surto do novo coronavírus, os pesquisadores têm tentado desenvolver tratamentos baseados em nanotecnologia. De acordo com a literatura, a nanotecnologia apresenta vantagens em relação aos atuais sistemas de diagnósticos, como lipossomas, nanopartículas poliméricas e lipídicas, nanopartículas metálicas e micelas. Espera-se que o tratamento baseado nesses nanocarregadores e o desenvolvimento de vacinas melhorem a eficácia, as estratégias de imunização e a distribuição direcionada para promover respostas imunológicas para coronavírus (SARAVANAN et al., 2021; THARAYIL et al., 2021).

Pesquisadores do Chipre têm feito um grande trabalho em nanopartículas de quitosana para aplicação de aerossol, nesse sentido, as nanopartículas de quitosana, denominadas Navochizol, permitem o encapsulamento de diversos fármacos para transportá-los aos pulmões,

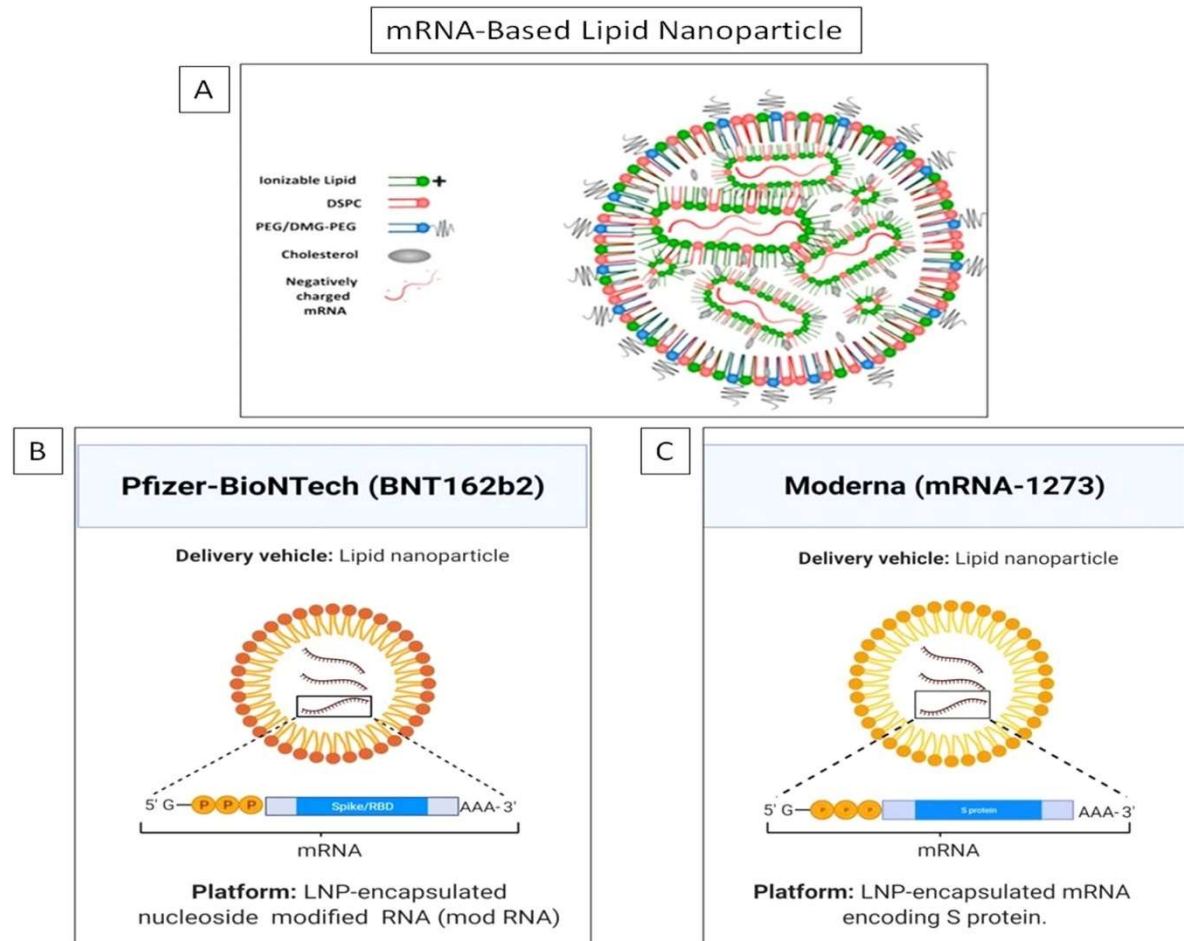
a fim de ter ação efetiva na cura infecções graves por COVID-19. De acordo com os desenvolvedores deste produto, os aerossóis Navochizol podem fornecer uma dose terapêutica a um paciente por um período que varia de 25min a 3horas. O uso de quitosana como nanopartícula oferece muitos benefícios, como baixa toxicidade e biodegradabilidade em modelos *in vitro* e *in vivo*. Além disso, a pesquisa sobre quitosana mostra uma aplicabilidade muito boa no transporte de drogas para os pulmões (SARAVANAN et al., 2021).

Com o novo coronavírus se alastrando em todo o mundo e o índice de morte aumentando cada vez mais, pesquisadores de todo mundo em resposta correram contra o tempo em busca de uma terapêutica, bem como vacinas profiláticas para impedir a rápida propagação. Com uma velocidade sem precedentes, o final de 2020 viu os favoritos, duas vacinas de RNA mensageiro (mRNA) baseado em nanomedicina BNT162b2 e mRNA-1273, das farmacêuticas Pfizer e Moderna respectivamente, receberem autorização de uso emergencial da Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos da América (EUA), é a primeira vez na história que duas vacinas baseadas em mRNA desenvolvidas usando nanopartículas lipídicas (LNPs) recebem autorização de uso de emergência (WU; LI, 2021).

A nanotecnologia acelerou o desenvolvimento de vacinas COVID-19 baseadas em mRNA, inventadas pela Moderna e Pfizer / BioNTech. A eficácia é um parâmetro importante para vacinas e é definida como a redução percentual na incidência da doença entre o grupo vacinado durante o ensaio clínico em comparação com um grupo de controle não vacinado em condições semelhantes. Os dados primários revelaram que BNT162b2 e mRNA-1273 têm uma eficácia de 95% e 94,5% contra SARS-CoV-2, respectivamente. A vacina Moderna é baseada em um mRNA estabilizado da proteína spike viral e a BNT162b2 é baseada em um RNA modificado por nucleosídeo (modRNA) do vírus SARS-CoV-2 (KHURANA et al., 2021). A Figura 1 mostra o portador de entrega da chave e a Figura 2 elucida o mecanismo de ação das vacinas de mRNA que leva à imunidade adaptativa através de vários caminhos possíveis: (1) transfecção de células somáticas, como células musculares e células epidérmicas, (2) transfecção de células imunes residentes em tecido nos locais de injeção e (3) transfecção de células imunes nos tecidos linfoides secundários, incluindo nódulos linfáticos (LNs) e o baço. As vacinas de mRNA administradas por vias parentais, como injeções intradérmicas, intramusculares e subcutâneas, podem transfectar células não imunes perto dos locais de injeção. A transfecção de células não imunes leva à produção de antígeno que é subsequentemente degradado nos proteassomas. Após a degradação, os epítopos derivados do antígeno podem formar um complexo com o complexo principal de histocompatibilidade

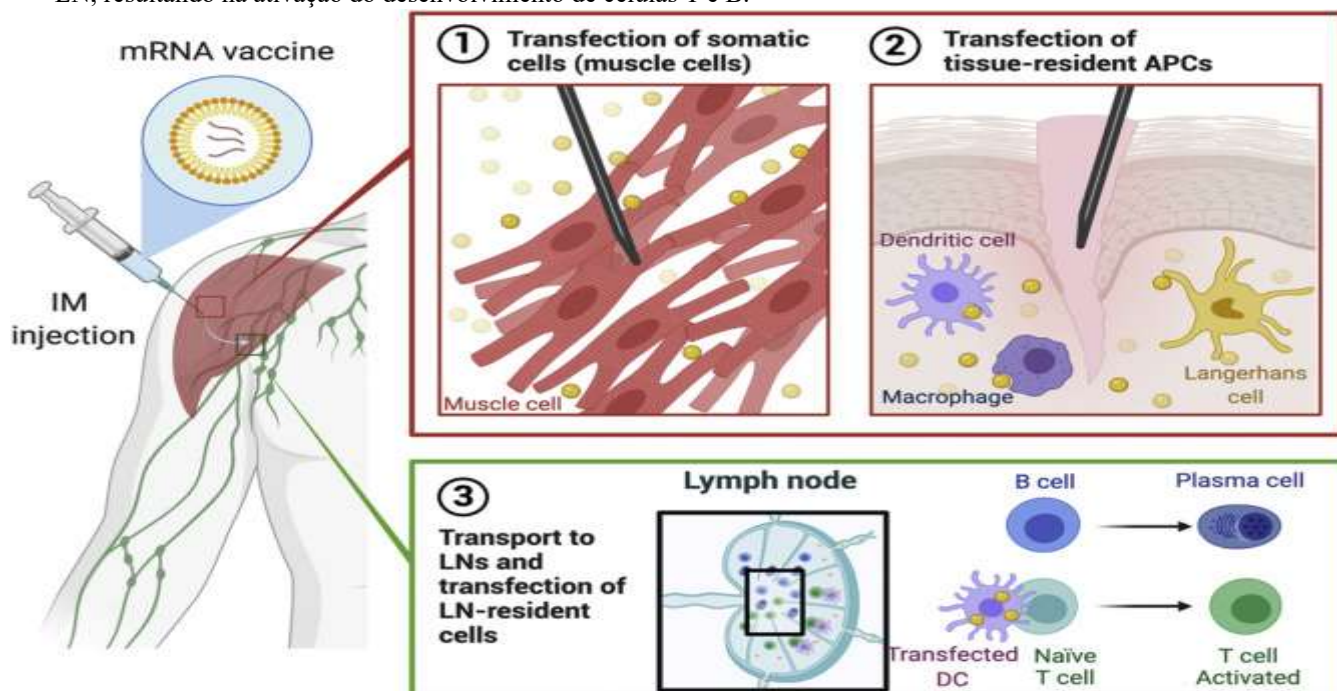
(MHC) classe I para a apresentação do antígeno às células T citotóxicas que expressam CD8, levando ao estabelecimento da imunidade celular ao antígeno. A transfecção de miócitos também é conhecida por ativar as células dendríticas derivadas da medula óssea, seguida por iniciação de células T CD8<sup>+</sup>. Embora o mecanismo exato seja desconhecido, acredita-se que o antígeno seja transferido dos miócitos para as células dendríticas.

**Figura 1:** A) A estrutura geral da nanopartícula lipídica (LNP) mostrando os componentes principais e a carga única de mRNA de, B) Pfizer-BioNTech e C) Vacinas Moderna.



Fonte: (KHURANA et al., 2021)

**Figura 2:** Modos de ação de vacinas de mRNA administradas por via intramuscular. (1, 2) as vacinas de mRNA podem transfectar (1) células musculares, bem como (2) APCs residentes em tecidos próximos ao local da injeção. (3) vacinas de mRNA podem fluir para os linfonodos proximais (LNs) e transfectar células residentes em LN, resultando na ativação do desenvolvimento de células T e B.



Fonte: (KIM et al., 2021).

Apesar de várias vacinas emergentes, ainda não existe uma terapêutica verificável direcionada especificamente para o novo coronavírus. Diante disso, pesquisadores australianos fizeram a utilização de nanopartículas lipídicas onde encapsularam vários fragmentos de RNA de pequena interferência (siRNAs). Segundo os pesquisadores, vários siRNAs foram testados, porém três siRNAs conseguiram efetivamente inibir o SARS-CoV-2, com uma taxa de efetividade de 90%. Os primeiros testes *in vivo*, mostrou-se bastante promissor por conseguir inibir a infecção nos pulmões dando assim uma taxa de sobrevivência maior para os camundongos tratados com siRNA. Os pesquisadores concluíram que essa nova abordagem com LNP-siRNA pode-se ser administrada em humanos de forma escalonáveis aos primeiros sinais de infecção pelo o novo coronavírus, e mostra-se ser uma alternativa como tratamento coadjuvante auxiliando as vacinas atuais (IDRIS, et al. 2021).

### Nanopartículas na prevenção contra a SARS-CoV-2

A COVID-19 é contagioso e transmitido de uma pessoa para outra através de microgotas liberadas durante os espirros e tosses ou ao tocar em superfícies contaminadas. Vários estudos indicam que o SARS-CoV-2 persiste por 3 horas na forma de aerossol e por mais de 9 dias a 30°C e temperaturas acima. Nessa situação, a OMS recomendou o uso de máscaras, manutenção



da higiene pessoal, desinfecção de superfícies como maçanetas, cadeiras, interruptores, mesas etc. Usando desinfetantes como álcool, sabão, hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, etc (CHINTAGUNTA et al., 2021).

Estudos de Huang et al. (2020), em diferentes condições de operação, a desparafinação e os desinfetantes à base de álcool e água podem não funcionar completamente, necessidade imensa de desenvolver desinfetantes que não sejam tóxicos e persistam por mais tempo. Nesse cenário, a nanotecnologia abre um novo caminho para o desenvolvimento de sistemas desinfetantes eficientes com atividade antimicrobiana e capacidade de autolimpeza, uma vez que nanopartículas metálicas, que podem liberar a substância ativa em resposta a estímulos eletrotérmicos, fotocatalíticos e fototérmicos, podem possuir atividade antibacteriana, antiviral e antifúngica.

A utilização das máscaras cirúrgicas descartáveis é comum para pacientes, médicos e até mesmo ao público em geral. Porém, as máscaras cirúrgicas atuais não podem se auto-esterilizar para serem reutilizadas ou recicladas para outras aplicações. Os elevados custos econômicos e ambientais resultantes estão prejudicando ainda mais as sociedades em todo o mundo. Em estudos desenvolvidos por Zhong et al., onde relataram um método único para funcionalizar as máscaras cirúrgicas comercialmente disponíveis com excelentes propriedades de autolimpeza e fototérmica. Os pesquisadores utilizaram um método de transferência direta induzida por laser dual-mode que foi desenvolvida para depositar grafeno de poucas camadas nas máscaras cirúrgicas. Sob iluminação solar, a temperatura de superfície da máscara funcional pode aumentar rapidamente para mais de 80°C, tornando as máscaras reutilizáveis após a esterilização solar. Além disso, estas máscaras revestidas de grafeno podem ser recicladas diretamente para uso em dessalinização movida a energia solar com excelente desempenho de rejeição de sal para uso a longo prazo.

Um estudo de revisão sobre a eficácia dos equipamentos de proteção individual, com ênfase nas máscaras, demonstra que em condições experimentais, as máscaras N95 apresentam melhor proteção do que as máscaras cirúrgicas devido à filtração eficiente tanto de nanopartículas quanto de bioaerossóis (CARVALHO; TEIXEIRA, 2020). Embora as máscaras N95 sejam proclamadas como as mais eficazes até agora, elas têm eficácia de apenas 85% para partículas menores que 300nm. No entanto, o vírus COVID-19 tem uma faixa de diâmetro de 60 - 140nm, mostrando a necessidade de máscaras mais eficientes. Uma das estratégias a ser adotada para solucionar esse problema seria a utilização da tecnologia de nanofibra, produzidas por eletrospinning. As nanofibras apresentam como vantagem o fornecimento de uma grande área

de superfície para filtragem e também pode ser funcionalizada com diferentes grupos quimicamente ativos para captura e neutralizar as partículas nanométricas e infectantes (ADHIKARI et al., 2020; CHINTAGUNTA et al., 2021).

Por outro lado, para a proteção das mãos, as luvas com infusão de nanopartículas de prata podem fornecer atividade viricida. Existem também estruturas revestidas com receptor ACE2 como nanoflores com pétalas contendo nanopartículas utilizadas na amplificação da atividade enzimática. A membrana da célula humana, o alvo instintivo do vírus SARS-CoV-2, tem sido usado para criar nanoesponjas que se ligam ainda mais ao vírus, neutralizando-o de uma maneira dependente da concentração. Porém, derivados dos sulfatos de óxido de grafeno fornecem uma opção mais viável. Os vírus que normalmente se ligam aos açúcares do receptor da célula, que podem ser imitados por antivirais celulares, como o sulfato de heparina. Estudos recentes demonstraram que a interação entre a proteína spike do SARS-CoV-2 e a heparina inicia uma mudança conformacional da proteína. Portanto, um amálgama de heparina e outros sulfatos reaproveitados em nanopartículas de óxido de grafeno pode ser usado para absorver a SARS-CoV-2. (CHINTAGUNTA et al., 2021).

#### 4 CONCLUSÃO

Com isso, o presente projeto visou explorar a aplicação de várias nanopartículas desde o diagnóstico em geral até o tratamento de vírus emergente e recorrentes. O desenvolvimento de sistemas de aplicação de antivirais baseados em nanotecnologia é uma estratégia potencial para melhorar a eficácia e segurança das terapias atuais, aumentando assim sua eficácia antiviral e reduzindo a sua toxicidade. O uso de nanopartículas como adjuvantes vacinais também tem produzido resultado satisfatório, que auxiliaram no desenvolvimento de vacinas antivirais eficazes e seguras. Com isso, a nanotecnologia mostrou-se uma ferramenta com enorme potencial no diagnóstico, prevenção e tratamento no combate a COVID-19.

#### REFERÊNCIAS

- CARVALHO, W.; TEIXEIRA, L. A. As máscaras faciais podem proteger contra a COVID-19?. *InterAmerican Journal of Medicine and Health*, 2020.
- LANA, R.M. et al. Emergência do novo coronavírus (SARS-CoV-2) e o papel de uma vigilância nacional em saúde oportuna e efetiva. **Cadernos de Saúde Pública**, vol.36, n.3, Rio de Janeiro, Mar. 2020.
- ZHONG, H. et al. Máscaras de grafeno reutilizáveis e recicláveis com excelentes desempenhos superhidrofóbicos e fototérmicos. **ACS Nano**, v.14, n. 5, p.6213-6221, 2020.
- IDRIS, A. et al. A SARS-CoV-2 targeted siRNA-nanoparticle therapy for COVID-19. **Molecular Therapy**. Maio, 2021.

MOITRA, P. et al. Selective Naked-Eye Detection of SARS-CoV-2 Mediated by N Gene Targeted Antisense Oligonucleotide Capped Plasmonic Nanoparticles. **ACS Nano**, v. 14, n. 6, p. 7617–7627, 2020.

BRASIL, Governo do Brasil. Saiba como o Governo Federal atua contra a Covid-19 desde o começo da crise. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/saude-e-vigilancia-sanitaria/2021/03/saiba-como-o-governo-federal-atua-contra-a-covid-19-desde-o-comeco>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

SEO, G. et al. Rapid Detection of COVID-19 Causative Virus (SARS-CoV-2) in Human Nasopharyngeal Swab Specimens Using Field-Effect Transistor-Based Biosensor. **ACS nano**, v. 14, n. 4, p. 5135–5142, 2020.

CHEN, Z. et al. Rapid and Sensitive Detection of anti-SARS-CoV-2 IgG, Using Lanthanide-Doped Nanoparticles-Based Lateral Flow Immunoassay. **Analytical Chemistry**, v. 92, n. 10, p. 7226–7231, 2020.

ADHIKARI, S. et al. Nanomaterials for diagnostic, treatment and prevention of COVID-19. **Applied Science and Technology Annals**, v. 1, n. 1, p. 155–164, 2020.

CHINTAGUNTA, A. D. et al. Nanotechnology: an emerging approach to combat COVID-19. **Emergent Materials**, p. 119–130, 2021.

HUANG, H. et al. COVID-19: A Call for Physical Scientists and Engineers. **ACS Nano**, 2020.

KHAN, A. H. et al. COVID-19 transmission, vulnerability, persistence and nanotherapy: a review. **Environmental Chemistry Letters**, n. 0123456789, 2021.

KHURANA, A. et al. Role of nanotechnology behind the success of mRNA vaccines for COVID-19. **Nano Today**, v. 38, n. November 2020, p. 101142, 2021.

KIM, J. et al. Self-assembled mRNA vaccines. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 170, p. 83–112, 2021.

OLIVEIRA, W. K. DE et al. Como o Brasil pode deter a COVID-19. **Epidemiologia e serviços de saúde : revista do Sistema Unico de Saude do Brasil**, v. 29, n. 2, p. e2020044, 2020.

SARAVANAN, M. et al. Microbial Pathogenesis Nanotechnology-based approaches for emerging and re-emerging viruses : Special emphasis on COVID-19. **Microbial Pathogenesis**, v. 156, n. April, p. 104908, 2021.

SAXENA, A. et al. Recent advances in materials science: a reinforced approach toward challenges against COVID-19. **Emergent Materials**, v. 2019, p. 57–73, 2021.

THARAYIL, A. et al. New insights into application of nanoparticles in the diagnosis and screening of novel coronavirus (SARS-CoV-2). **Emergent Materials**, p. 101–117, 2021.

WU, Z.; LI, T. Nanoparticle-Mediated Cytoplasmic Delivery of Messenger RNA Vaccines: Challenges and Future Perspectives. **Pharmaceutical Research**, v. 38, n. 3, p. 473–478, 2021.