

Mecanismos imunológicos ativados por vacinas de mRNA: uma revisão dos avanços e desafios

Immunological Mechanisms Triggered by mRNA Vaccines: A Review of Advances and Challenges

Luiz Fernando de Souza¹

Martinelle Ferreira da Rocha Taranto²

RESUMO

A vacinação representa uma das principais conquistas da saúde pública, sendo responsável pela prevenção de inúmeras doenças infecciosas e pela redução significativa da morbidade e mortalidade ao longo da história. Entre as inovações mais recentes, as vacinas de RNA mensageiro (mRNA) destacam-se por sua rapidez de desenvolvimento, segurança e capacidade de adaptação frente a variantes virais emergentes. Diferentemente das plataformas tradicionais, essa tecnologia utiliza sequências sintéticas de RNA que instruem as células hospedeiras a produzirem proteínas virais, desencadeando respostas imunológicas específicas. O presente trabalho tem como objetivo revisar os mecanismos imunológicos ativados pelas vacinas de mRNA, analisando seus avanços e desafios a partir da literatura científica recente. Para isso, foi realizada uma revisão narrativa em bases de dados nacionais e internacionais, contemplando artigos publicados entre 2018 e 2025, em português e inglês, que abordam diretamente a imunogenicidade, eficácia e limitações dessa tecnologia. Os estudos revisados evidenciam que as vacinas de mRNA induzem de forma eficaz respostas imunes humorais e celulares, apresentando elevado grau de eficácia contra a COVID-19. Contudo, ainda existem desafios relacionados à estabilidade do RNA, necessidade de baixas temperaturas para armazenamento e incertezas quanto à duração da imunidade. Nesse cenário, a atuação do biomédico revela-se essencial, tanto no desenvolvimento e validação de imunobiológicos quanto na análise da resposta imunológica em pesquisas laboratoriais e clínicas. Conclui-se que as vacinas de mRNA representam uma ferramenta promissora para a imunização contemporânea, e sua contínua investigação contribui para o fortalecimento científico da Biomedicina e para o avanço da saúde pública.

Palavras-chave: Vacinas de mRNA; Imunologia; Biomédico; Avanços científicos; Saúde pública.

ABSTRACT

Vaccination represents one of the greatest achievements in public health, being responsible for the prevention of countless infectious diseases and for the significant reduction of morbidity and mortality throughout history. Among the most recent innovations,

¹ Discente do curso de Biomedicina da Afya Centro Universitário São João del-Rei/MG
e-mail: luizfernando25ko@hotmail.com

² Docente do curso de Biomedicina da Afya Centro Universitário São João del-Rei/MG
e-mail: martinelle.taranto@afya.com.br

messenger RNA (mRNA) vaccines stand out for their rapid development, safety, and ability to adapt to emerging viral variants. Unlike traditional platforms, this technology employs synthetic RNA sequences that instruct host cells to produce viral proteins, thereby triggering specific immune responses. The present study aims to review the immunological mechanisms activated by mRNA vaccines, analyzing their advances and challenges based on recent scientific literature. To achieve this, a narrative review was conducted using national and international databases, including articles published between 2018 and 2025, in Portuguese and English, which directly address the immunogenicity, efficacy, and limitations of this technology. The reviewed studies demonstrate that mRNA vaccines effectively induce both humoral and cellular immune responses, showing a high degree of efficacy against COVID-19. However, challenges remain regarding RNA stability, the need for low-temperature storage, and uncertainties about the duration of immunity. In this context, the role of biomedical professionals is essential, both in the development and validation of immunobiologicals and in the analysis of immune responses in laboratory and clinical research. It is concluded that mRNA vaccines represent a promising tool for contemporary immunization, and their continued investigation contributes to the scientific strengthening of Biomedicine and to the advancement of public health.

Keywords: mRNA vaccines; Immunology; Biomedical sciences; Scientific advances; Public health.

1 INTRODUÇÃO

A vacinação representou uma das maiores conquistas da medicina moderna, sendo considerada uma das ferramentas mais eficazes de saúde pública para a prevenção de doenças infecciosas e a redução da morbimortalidade em escala global. Desde os primeiros experimentos de Edward Jenner, no século XVIII, até os avanços da biotecnologia, as vacinas desempenharam papel essencial no controle de epidemias e na melhoria da expectativa de vida mundial (Nagarajan; Anandarajan, 2025).

Ao longo da história, diversas plataformas vacinais foram desenvolvidas, como as vacinas de microrganismos vivos atenuados, inativados, de subunidades e conjugadas. Entretanto, o advento das vacinas baseadas em RNA mensageiro (mRNA) trouxe uma inovação disruptiva para o campo da imunização, pois utilizava uma sequência sintética de RNA que orientava as células humanas a produzirem a proteína-alvo, desencadeando uma resposta imune protetora sem a necessidade de empregar o agente infeccioso diretamente (Pardi *et al.*, 2022).

Essas vacinas demonstraram eficácia e segurança elevadas durante a pandemia de COVID-19, como evidenciado pelas plataformas Comirnaty® (Pfizer-BioNTech) e Spikevax® (Moderna), que foram as primeiras a serem aprovadas em larga escala. Além

disso, destacaram-se pela rapidez na produção e pela flexibilidade em adaptarem-se a variantes virais emergentes (Sun *et al.*, 2023). Ainda assim, permaneceram desafios relacionados à estabilidade do RNA, à necessidade de armazenamento em baixas temperaturas e ao acesso desigual em países de baixa renda (Deng *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, a questão central que norteou este trabalho foi: quais foram os principais mecanismos imunológicos ativados pelas vacinas de mRNA e quais os avanços e desafios dessa tecnologia. Hipotetizou-se que, ao compreender profundamente esses mecanismos, seria possível otimizar a eficácia vacinal, reduzir efeitos adversos e expandir o uso dessa plataforma para outras doenças infecciosas e até mesmo para o tratamento de cânceres (Kundu *et al.*, 2025).

O objetivo geral deste estudo foi analisar os mecanismos imunológicos ativados por vacinas de mRNA, destacando os avanços obtidos e os desafios ainda existentes. Como objetivos específicos, buscou-se: (1) revisar os principais tipos de resposta imune desencadeados por vacinas de mRNA; (2) avaliar os progressos científicos e tecnológicos relacionados ao desenvolvimento dessa plataforma; e (3) discutir as implicações para a atuação biomédica.

A relevância deste trabalho justificou-se pela contribuição científica e social que o tema ofereceu. Do ponto de vista científico, a análise crítica dos mecanismos imunológicos de vacinas de mRNA auxiliou no aprimoramento das estratégias vacinais e na ampliação de suas aplicações (Penn medicine, 2023). Já na perspectiva social, tratou-se de um tema diretamente ligado à saúde pública, à prevenção de pandemias e ao desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas. No contexto da Biomedicina, destacou-se a atuação do biomédico, profissional capacitado para atuar na pesquisa, desenvolvimento e validação de imunobiológicos, além de contribuir na análise da resposta imune e no avanço das tecnologias em imunizações.

Metodologicamente, tratou-se de uma revisão narrativa de literatura, com análise de artigos científicos, documentos institucionais e revisões sistemáticas publicadas nos últimos anos. Essa abordagem permitiu reunir informações atuais e relevantes para compreender melhor o tema e fornecer subsídios para discussões futuras no campo biomédico.

Por fim, este trabalho foi estruturado em capítulos que abordaram, de forma progressiva, o tema proposto. Inicialmente, foram apresentados conceitos básicos sobre vacinas e plataformas vacinais. Em seguida, discutiram-se os fundamentos biológicos e

imunológicos das vacinas de mRNA. Posteriormente, foram explorados os avanços e desafios dessa tecnologia. Por último, analisou-se o papel do biomédico nesse cenário, evidenciando a importância de sua atuação na inovação e na saúde pública.

2 METODOLOGIA

2.1 Tipo de estudo

Este estudo é classificado como uma revisão narrativa da literatura, que tem como objetivo reunir, analisar e discutir publicações científicas relevantes relacionadas aos mecanismos imunológicos ativados por vacinas de mRNA, bem como os avanços e desafios associados a essa tecnologia. Trata-se de uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo.

2.2 Fontes de dados e critérios de seleção dos estudos

Foram utilizadas bases de dados científicas de acesso público ou institucional, como PubMed, SciELO, ScienceDirect e Google Acadêmico, para a busca de artigos científicos e revisões relevantes ao tema.

– Critérios de inclusão:

- Artigos publicados entre 2015 e 2025;
- Estudos revisados por pares, em português ou inglês;
- Textos com foco em vacinas de mRNA, resposta imunológica, aplicação biomédica, eficácia e segurança.

– Critérios de exclusão:

- Trabalhos duplicados;
- Artigos com metodologia inadequada ou sem relação direta com o tema proposto;
- Textos opinativos não embasados cientificamente.

2.3 Descritores utilizados na pesquisa

Para a realização desta revisão de literatura, foram selecionados descritores em português e inglês, de modo a ampliar o alcance e a relevância das buscas nas bases de dados. Os termos escolhidos foram: “vacinas de RNA mensageiro”, “mRNA vaccines”, “imunologia de vacinas”, “resposta imunológica”, “biomedicina e vacinação”, “avanços em vacinas”, “desafios em vacinas de mRNA”, “COVID-19 e vacinas de mRNA”, “tecnologia de vacinas” e “mecanismos imunológicos”.

Esses descritores foram aplicados em bases de dados como PubMed, Scielo e Google Acadêmico, buscando identificar publicações relevantes e atualizadas sobre os mecanismos imunológicos ativados pelas vacinas de mRNA, seus avanços e os desafios associados.

3 RESULTADOS

A busca bibliográfica realizada nas bases PubMed, SciELO, ResearchGate e Google Acadêmico resultou em um conjunto de artigos publicados entre 2018 e 2025, que abordaram diferentes aspectos relacionados às vacinas de RNA mensageiro (mRNA). Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos, foram selecionados 10 artigos principais considerados relevantes para a construção desta revisão (Quadro 1).

Os estudos analisados demonstraram que as vacinas de mRNA representam uma das plataformas mais promissoras da atualidade, destacando-se pela elevada imunogenicidade, rapidez no desenvolvimento e segurança em comparação às vacinas tradicionais (Nagarajan; Anandarajan, 2025; Sun *et al.*, 2023). Um dos pontos centrais identificados na literatura é a capacidade dessas vacinas de estimular tanto a resposta imune humoral, com produção de anticorpos neutralizantes, quanto a resposta celular, mediada principalmente por linfócitos T CD4+ e CD8+ (Pardi *et al.*, 2022).

A análise dos artigos também evidenciou que as vacinas de mRNA utilizadas contra a COVID-19, como a Comirnaty® (Pfizer-BioNTech) e a Spikevax® (Moderna), foram capazes de alcançar taxas de eficácia acima de 90% em estudos clínicos iniciais, demonstrando ainda boa tolerabilidade e baixo risco de eventos adversos graves (Deng *et al.*, 2021). No entanto, aspectos como a estabilidade do RNA e a necessidade de armazenamento em temperaturas ultrabaixas foram apontados como limitações que dificultaram a distribuição em países de baixa e média renda (Kundu *et al.*, 2025).

Além disso, os resultados revelaram que essa tecnologia apresenta grande potencial de expansão para outras áreas além das doenças infecciosas. Alguns estudos relatam avanços em pesquisas que utilizam vacinas de mRNA no tratamento de diferentes tipos de câncer e em doenças autoimunes, ampliando assim o espectro de aplicação da plataforma (Sun *et al.*, 2023; Penn Medicine, 2023).

De modo geral, os artigos revisados apontam que, apesar dos avanços significativos já alcançados, ainda existem desafios importantes a serem superados, como a otimização dos sistemas de entrega do RNA, a garantia de estabilidade em diferentes condições ambientais e a análise da duração da resposta imunológica em longo prazo.

Quadro 1 Características principais dos estudos.

Autor/ano	Objetivo	Tipo de estudo	Principais resultados
Pardi <i>et al.</i> (2022)	Investigar os mecanismos imunológicos ativados pelas vacinas de mRNA e a resposta inata desencadeada após a administração.	Revisão de literatura com foco em estudos experimentais sobre resposta imune inata.	As vacinas de mRNA ativam fortemente a imunidade inata por meio de receptores de RNA, promovendo produção de citocinas e ativação de células T e B.
Sun <i>et al.</i> (2023)	Revisar o desenvolvimento, a eficácia e as aplicações clínicas das vacinas de mRNA.	Revisão abrangente de estudos pré-clínicos e clínicos em humanos.	As vacinas de mRNA demonstraram alta eficácia e segurança, com rápido desenvolvimento e potencial para aplicações além da COVID-19.
Deng <i>et al.</i> (2021)	Discutir os desafios e as perspectivas futuras dos sistemas de entrega de vacinas de mRNA.	Revisão bibliográfica de estudos técnicos sobre transporte e estabilidade do RNA.	Foram destacados desafios como degradação do RNA e necessidade de armazenamento em baixas temperaturas, além da importância das nanopartículas lipídicas.
Kundu <i>et al.</i> (2025)	Avaliar os avanços e limitações recentes das vacinas de mRNA.	Revisão narrativa com foco em artigos científicos de 2019 a 2025.	Identificou avanços em formulações e plataformas vacinais, mas ressaltou limitações quanto à distribuição e à duração da resposta imunológica.
Nagarajan & Anandaraajan (2025)	Analisar a eficácia e a segurança das vacinas de mRNA comparadas às vacinas convencionais.	Revisão de literatura comparativa com estudos clínicos e pré-clínicos.	As vacinas de mRNA apresentaram maior potência e segurança, com potencial também para uso em

			imunoterapia contra o câncer.
Penn Medicine (2023)	Apresentar perspectivas sobre o futuro das vacinas de mRNA e suas aplicações médicas.	Relato institucional e revisão de pesquisas aplicadas.	Destaca o potencial das vacinas de mRNA em terapias personalizadas e no tratamento de cânceres e doenças autoimunes.
Neiva (2023)	Avaliar o papel do biomédico no desenvolvimento de novas tecnologias vacinais.	Revisão bibliográfica com foco em pesquisas brasileiras.	Evidenciou a importância do biomédico nas etapas de desenvolvimento, validação e controle de qualidade de vacinas.
Almeida <i>et al.</i> (2024)	Comparar a imunogenicidade e a eficácia das vacinas de mRNA com outras plataformas vacinais.	Revisão integrativa de estudos clínicos e laboratoriais.	Constatou que as vacinas de mRNA induzem respostas humorais e celulares mais robustas em comparação às tecnologias anteriores.
Silva <i>et al.</i> (2023)	Descrever os princípios de funcionamento e os benefícios das vacinas de mRNA	Revisão teórica baseada em publicações internacionais.	Concluiu que as vacinas de mRNA são seguras, rápidas de produzir e altamente adaptáveis a novas variantes virais.
Sbmt (2021)	Discutir o impacto das vacinas de RNA na imunologia moderna.	Artigo de divulgação científica com base em revisões recentes.	Ressaltou que as vacinas de mRNA inauguram uma nova era na imunologia, com potencial de revolucionar as práticas vacinais.

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nesta revisão confirmaram que as vacinas de RNA mensageiro (mRNA) representam uma das inovações mais significativas da imunologia moderna, especialmente após sua aplicação em larga escala durante a pandemia de COVID-19. A elevada eficácia e a rapidez no desenvolvimento desses imunizantes reforçam o potencial da tecnologia como alternativa às vacinas tradicionais (Nagarajan; Anandarajan, 2025; Sun *et al.*, 2023).

Um dos pontos centrais identificados foi a capacidade dessas vacinas de induzir uma resposta imune robusta e equilibrada, envolvendo tanto a produção de anticorpos neutralizantes quanto a ativação de linfócitos T, elementos fundamentais para a proteção contra infecções virais. Essa característica diferencia as vacinas de mRNA de algumas

plataformas convencionais, que muitas vezes apresentam resposta predominantemente humoral (Pardi *et al.*, 2022).

No entanto, a análise crítica da literatura mostrou que, apesar dos avanços, a tecnologia ainda enfrenta desafios relevantes. Entre eles, destacam-se a instabilidade natural do RNA, que exige sistemas de entrega complexos, como nanopartículas lipídicas, além da necessidade de armazenamento em temperaturas ultrabaixas, o que limita a distribuição em regiões com infraestrutura precária (Deng *et al.*, 2021; Kundu *et al.*, 2025). Esses obstáculos evidenciam que a inovação científica deve ser acompanhada por estratégias logísticas e de equidade em saúde para garantir o acesso global.

Outro aspecto importante discutido nos artigos revisados foi a possibilidade de aplicação das vacinas de mRNA em novas áreas, como a oncologia e o tratamento de doenças autoimunes. Essa ampliação de uso reforça o caráter versátil da plataforma, capaz de ser adaptada rapidamente para diferentes antígenos e contextos clínicos (Sun *et al.*, 2023; Penn Medicine, 2023). Nesse sentido, observa-se que o futuro da tecnologia vacinal dependerá não apenas do controle de doenças infecciosas emergentes, mas também de sua incorporação em terapias personalizadas.

No âmbito da Biomedicina, os achados desta revisão destacam a relevância da formação e da atuação do biomédico em processos de pesquisa, desenvolvimento e validação de novas vacinas. Profissionais da área contribuem diretamente em etapas como o desenho experimental, a análise da resposta imunológica e a avaliação da segurança vacinal, tornando-se peças-chave para o avanço científico e para a aplicação prática dessas tecnologias no sistema de saúde.

Portanto, a discussão dos resultados evidencia que, embora as vacinas de mRNA já tenham se consolidado como uma ferramenta eficaz no combate à COVID-19, ainda há um longo caminho a ser percorrido em termos de aprimoramento tecnológico, acesso equitativo e ampliação de suas aplicações terapêuticas.

5 CONCLUSÃO

A presente revisão permitiu identificar que as vacinas de RNA mensageiro (mRNA) se consolidaram como uma das maiores inovações da imunologia moderna, sobretudo após sua aplicação em larga escala durante a pandemia de COVID-19. Os estudos analisados demonstraram elevada eficácia e segurança desses imunizantes, além da

capacidade de induzir respostas imunes humorais e celulares robustas, confirmando seu potencial como alternativa às plataformas vacinais tradicionais.

Apesar dos avanços alcançados, a literatura destacou limitações que ainda precisam ser superadas, como a instabilidade natural do RNA, a necessidade de armazenamento em temperaturas ultrabaixas e a desigualdade no acesso global às vacinas. Tais fatores reforçam a importância de investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento para garantir maior viabilidade e equidade no uso dessa tecnologia.

No contexto da Biomedicina, este trabalho evidenciou a relevância da atuação do biomédico em diferentes etapas do processo vacinal, desde o desenvolvimento e validação de imunobiológicos até a análise da resposta imunológica em pesquisas laboratoriais e clínicas. A capacitação desse profissional contribui diretamente para a inovação científica e para a consolidação da saúde pública como um campo em constante evolução.

Por fim, conclui-se que as vacinas de mRNA representam uma plataforma promissora não apenas para o controle de doenças infecciosas emergentes, mas também para o avanço de terapias personalizadas, como no tratamento de cânceres e doenças autoimunes. Dessa forma, a continuidade das investigações nesse campo torna-se fundamental para fortalecer o conhecimento científico e ampliar as possibilidades de intervenção biomédica no futuro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Izabella Costa Mariuzzo *et al.* Vacinas de mRNA: mecanismo de imunogenicidade e eficácia comparada a outras plataformas vacinais. ***Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences***, v. 6, n. 10, p. 1-10, 2024. Disponível em: <https://bjih.s.emnuvens.com.br/bjih/article/download/3977/4038/8650>. Acesso em: jun de 2025.

APOLLO HOSPITALS. Vacinas de mRNA – **Uma nova abordagem para a imunização**. 2025. Disponível em: <https://www.apollohospitals.com/pt/health-library/mrna-vaccines-a-new-approach-to-immunisation>. Acesso em: jun de 2025.

CORRÊA DE ALBUQUERQUE, Raquel Angélica Andrade *et al.* Microbiologia e imunologia médica: desenvolvimento e eficácia de vacinas de mRNA contra variantes emergentes do SARS-CoV-2. ***ResearchGate***, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/384926934_Microbiologia_E_Imunologia_Medica_Desenvolvimento_E_Eficacia_De_Vacinas_De_Mrna_Contra_Variantes_Emergentes_Do_Sars-Cov-2. Acesso em: jul de 2025.

DENG, Z. *et al.* mRNA vaccine delivery systems: challenges and future directions. **Nature Reviews Drug Discovery**, v. 20, p. 701-722, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41573-021-00283-5>. Acesso em: set de 2025.

KUNDU, R. *et al.* mRNA vaccines: recent advances and future prospects. **Virology Journal**, v. 22, n. 36, 2025. Disponível em: <https://virologyj.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12985-025-02645-6>. Acesso em: out de 2025.

NAGARAJAN, U.; ANANDARAJAN, R. mRNA vaccines as powerful alternative for conventional vaccines: High potency, safety and potential in cancer immunotherapy. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 227, p. 119-132, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9917162/>. Acesso em: set de 2025.

NEIVA, Olívia Maria Beligoli. A utilização de novas tecnologias na produção de vacinas: uma abordagem na Biomedicina. **UNIPAC**, 2023. Disponível em: <https://ri.unipac.br/repositorio/wp-content/uploads/tainacan-items/282/261302/OLIVIA-MARIA-BELIGOLI-NEIVA-A-UTILIZACAO-DE-NOVAS-TECNOLOGIAS-NA-PRODUCAO-BIOMEDICINA-2023.pdf>. Acesso em: ago de 2025.

PARDI, N. *et al.* Mechanisms underlying innate immune activation by mRNA vaccines. **Nature Reviews Immunology**, v. 22, n. 2, p. 105-116, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9641982/>. Acesso em: set de 2025.

PENN MEDICINE. Pioneering the future of medicine with mRNA vaccines. **University of Pennsylvania**, 2023. Disponível em: <https://www.pennmedicine.org/about/pioneering-the-future-of-medicine/mrna>. Acesso em: out de 2025.

SBMT – **Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. Vacinas de RNA abrem nova janela no campo da imunologia. 2021. Disponível em: <https://sbmt.org.br/vacinas-de-rna-abrem-nova-janela-no-campo-da-imunologia/>. Acesso em: ago de 2025.

SILVA, João Pedro da *et al.* Vacinas de mRNA: uma nova abordagem para a imunização. **Revista Perspectiva: Ciência e Saúde**, v. 8, n. 1, p. 4-10, 2023. Disponível em: <https://cientifica.cnec.br/index.php/revista-perspectiva/article/download/169/170/507>. Acesso em: ago de 2025.

SUN, Z. *et al.* mRNA vaccines for disease prevention and treatment: from design to clinical trials. **Signal Transduction and Targeted Therapy**, v. 8, n. 109, 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41392-023-01579-1>. Acesso em: set de 2025.