

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
MESTRADO PROFISSIONAL NO ENSINO DE BIOLOGIA
PROFBIO

MAURA KETA FERNANDES

**A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE BIOTECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO BÁSICA:
EXPLORANDO AS APLICAÇÕES DE VACINAS DE RNA EM UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA INVESTIGATIVA**

JUIZ DE FORA

2024

MAURA KETA FERNANDES

**A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE BIOTECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO BÁSICA:
EXPLORANDO AS APLICAÇÕES DE VACINAS DE RNA EM UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA INVESTIGATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional no Ensino de Biologia (PROFBIO) do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre no Ensino de Biologia.

Professora Orientadora: Dra. Michele Munk

JUIZ DE FORA

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Keta Fernandes, Maura.

A importância do ensino de biotecnologia: explorando a aplicação de vacinas de RNA em uma sequência didática investigativa / Maura Keta Fernandes. -- 2024.

85 f.

Orientador: Michele Munk Pereira
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Imunologia e Genética, 2024.

1. Vacinas de RNA. 2. Biotecnologia. 3. Sequência didática investigativa. 4. Fake news. 5. Ensino investigativo. I. Munk Pereira, Michele, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil – Código de Financiamento 001.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a Jeová Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta jornada. Agradeço por cada obstáculo superado e por cada momento de inspiração que me permitiram chegar até aqui.

À minha família, meu porto seguro e fonte de amor incondicional, meu muito obrigado. Vocês, Maria (mãe), Jailton (padrasto) e Eunice (irmã), foram fundamentais para a realização deste trabalho, com os seus incentivos e apoio me ajudaram a seguir em frente.

Gostaria de agradecer à Escola Estadual de Belmiro Braga (MG), por abrir as portas para a realização desta pesquisa. Agradeço ao diretor, Jardel, pela receptividade e por me dar a oportunidade de contribuir para o ensino de Biologia nesta instituição. Agradeço aos alunos do 3º Ano do Ensino Médio de Tempo Integral (turma 2024), que participaram da pesquisa com entusiasmo e me ensinaram muito sobre o ensino de Biotecnologia.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação. Aos meus colegas de mestrado, pelas trocas de conhecimento e pelo apoio mútuo. Aos meus amigos, pelas palavras de incentivo e por me manterem motivado. Aos profissionais que me auxiliaram na pesquisa, em especial minha orientadora (Doutora Michele Munk), que colaborou com sua expertise.

Por fim, agradeço a você, leitor, por dedicar seu tempo a esta dissertação. Espero que ela possa contribuir para o ensino de Biologia e para a formação de futuros cientistas.

Maura Keta Fernandes

RESUMO

A biotecnologia, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de vacinas de RNA, apresenta desafios significativos no contexto educacional, devido à natureza abstrata de conceitos como DNA, RNA e manipulação genética. Além disso, o ambiente digital atual, marcado pela disseminação de notícias falsas, torna ainda mais urgente que os estudantes desenvolvam um entendimento sólido e crítico sobre esses temas. Diante desse cenário, torna-se essencial promover uma educação científica que não apenas forneça informações técnicas, mas que também capacite os alunos a identificarem e questionarem a desinformação, especialmente no que diz respeito à segurança e eficácia das vacinas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma sequência didática investigativa (SDI) sobre biotecnologia, com foco no desenvolvimento e na aplicação de vacinas de RNA para estimular o pensamento crítico e reflexivo dos estudantes. A SDI, aplicada em seis aulas de 50 minutos, utilizou uma abordagem ativa e investigativa para abordar os desafios do ensino de biotecnologia de forma prática e significativa. Na primeira aula, a problematização foi apresentada, e os alunos formularam questionamentos e hipóteses, muitas vezes baseados em informações equivocadas sobre vacinas de RNA e suas implicações. Em seguida, foram realizadas atividades de investigação em fontes confiáveis, discussões críticas e uma simulação para demonstrar a eficácia da vacinação na prevenção de epidemias. O ciclo investigativo culminou na elaboração de um texto reflexivo pelos alunos, consolidando o conhecimento adquirido. Ao longo das atividades, os estudantes tiveram a oportunidade de corrigir equívocos, como a ideia de que vacinas de RNA podem alterar o DNA, e de compreender melhor a importância das vacinas no controle de doenças infecciosas. A simulação da cobertura vacinal demonstrou eficácia na compreensão dos benefícios da vacinação em massa, reforçando o papel do conhecimento científico no combate à desinformação. Dessa forma, o trabalho facilitou a compreensão dos conceitos-chave de biotecnologia, além de promover a capacidade dos alunos de questionar e avaliar criticamente as informações que consomem, especialmente em relação às notícias falsas.

Palavras-chaves: Biotecnologia, Ensino Investigativo, Transgênicos, Vacinas de RNA, Sequência Didática Investigativa, Ciência, Tecnologia e Sociedade

ABSTRACT

Biotechnology, particularly in the context of RNA vaccine development, presents significant challenges in educational settings due to the abstract nature of concepts such as DNA, RNA, and genetic manipulation. Furthermore, the current digital environment, characterized by the widespread dissemination of misinformation, underscores the urgent need for students to develop a solid and critical understanding of these topics. In light of this context, it is essential to promote a scientific education that not only provides technical information but also equips students with the skills to identify and challenge misinformation, particularly regarding vaccine safety and efficacy. This study aimed to develop an Investigative Didactic Sequence (IDS) on biotechnology, focusing on the development and application of RNA vaccines to foster critical and reflective thinking among students. The IDS was implemented in six 50-minute sessions, employing an active and inquiry-based approach to address the challenges of teaching biotechnology in a practical and meaningful way. In the first session, the problem was introduced, prompting students to formulate questions and hypotheses, often based on misconceptions about RNA vaccines and their implications. Subsequent sessions involved research activities using reliable sources, critical discussions, and a simulation demonstrating the effectiveness of vaccination in preventing epidemics. The investigative cycle concluded with students producing a reflective text to consolidate their learning. Throughout the activities, students corrected misconceptions, such as the belief that RNA vaccines can alter DNA and gained a deeper understanding of the role of vaccines in controlling infectious diseases. The vaccination coverage simulation proved particularly effective in illustrating the benefits of mass vaccination, highlighting the importance of scientific knowledge in countering misinformation. This approach not only facilitated students' understanding of key biotechnology concepts but also enhanced their ability to critically evaluate the information they encounter, especially in the context of misinformation.

Keywords: Biotechnology, Inquiry-Based Learning, Transgenics, RNA Vaccines, Inquiry-Based Didactic Sequence, Science, Technology, and Society

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Linha do tempo sobre a história das vacinas.....	16
Figura 2 - Ilustração de como a vacina atua no interior da célula.....	17
Figura 3 - Descrição dos passos para a criação de uma vacina de RNAm	19
Fotografia 1 - Leitura do trecho da reportagem pelos estudantes.....	29
Fotografia 2 - Perguntas levantadas pelos alunos.....	31
Fotografia 3 - Momento da investigação dos alunos.....	33
Fotografia 4 – Simulação sobre vacinação.....	34
Fotografia 5 – Simulação do aumento da cobertura vacinal.....	36
Gráfico 1 - Opinião dos alunos sobre a matéria trazida.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perguntas e hipóteses levantadas pelos alunos.....	32
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EI	Ensino investigativo
EM	Ensino Médio
EMTI	Ensino Médio de Tempo Integral
NaOH	Soda Cáustica
pH	Potencial hidrogeniônico
RNA	Ácido ribonucléico
RNAm	Ácido ribonucléico mensageiro
SARS-CoV-2	Vírus da Covid
SDI	Sequência Didática Investigativa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Ensino por Investigação em Biotecnologia.....	11
1.2 Biotecnologia e vacinas de RNA.....	15
1.3 O uso de vacinas e as Fake News.....	19
2. OBJETIVOS.....	22
2.1 Objetivos específicos.....	22
3. METODOLOGIA.....	23
3.1 Primeiro momento.....	23
3.2 Segundo momento.....	24
3.3 Terceiro momento e quarto momento.....	24
3.4 Quinto momento.....	25
3.5 Sexto momento.....	26
4. RESULTADOS.....	28
4.1 Primeiro Momento.....	20
4.2 Segundo Momento.....	32
4.3 Terceiro e quarto Momento.....	33
4.4 Quinto Momento.....	37
4.5 Sexto Momento.....	37
5. DISCUSSÕES.....	39
6. CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	52
APÊNDICES.....	61
ANEXO I Produto: Sequência Didática.....	61
ANEXO II Diário de bordo.....	67
ANEXO III Problematização e criação de hipóteses.....	68
ANEXO IV Trecho da reportagem <i>fake news</i>.....	70
ANEXO V Reportagem da BBC News sobre vacinas de RNA.....	71
ANEXO VI Parecer do Comitê de Ética.....	77
ANEXO VII Ata da defesa.....	82
ANEXO VII Termo de aprovação.....	85

1. INTRODUÇÃO

A compreensão de conceitos científicos complexos, como a biotecnologia e seu impacto no avanço da sociedade, representa um desafio significativo no contexto do ensino médio. Muitos dos termos relacionados a essa área, como DNA, RNA, genes, DNA recombinante e engenharia genética, são abstratos e distantes da realidade cotidiana dos alunos, o que dificulta sua assimilação. Nesse contexto, os estudantes frequentemente enfrentam dificuldades em associar conceitos técnicos e abstratos, como os relacionados à biotecnologia, com suas aplicações práticas no cotidiano (Silva et al., 2022).

Isso, por sua vez, tende a gerar desinteresse e uma compreensão superficial dos conteúdos, dificultando o desenvolvimento de uma educação científica que seja crítica e aprofundada, essencial para a formação de cidadãos informados e reflexivos. Ao mesmo tempo, alguns produtos da biotecnologia, como as vacinas, fazem parte do dia a dia dos alunos, o que oferece uma oportunidade pedagógica para aproximar esses conceitos abstratos de realidades mais tangíveis (Oliveira; Araújo; Lacerda, 2023).

No entanto, a presença generalizada de desinformação sobre biotecnologia, particularmente em relação às vacinas, cria outro desafio para os professores. Muitos alunos chegam à sala de aula com percepções distorcidas ou preconceitos sobre temas científicos, em parte devido ao bombardeio de informações falsas que circula nas redes sociais (Brígida et al., 2021) ou influenciadas pelo contexto familiar, reproduzindo falas comumente difundidas em seu convívio.

Dessa forma, o problema de ensino não é apenas transmitir o conhecimento técnico relacionado à biotecnologia, mas também desenvolver neles a capacidade crítica para avaliar a veracidade das informações a que estão expostas. O professor, neste cenário, desempenha um papel como mediador do letramento científico, orientando os alunos a questionarem e investigar informações e, ao mesmo tempo, conectando os conceitos científicos com aplicações práticas, como o uso de vacinas e outras inovações biotecnológicas (Leite; Kondarzewski, 2023).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018) reforça essa necessidade de formar cidadãos críticos e reflexivos, capazes de interpretar informações científicas de maneira fundamentada e autônoma. No entanto, para que esse objetivo seja alcançado, os professores precisam superar a abordagem tradicional de ensino, que muitas vezes se limita a exposições teóricas, sem proporcionar uma aprendizagem significativa e contextualizada.

O uso de metodologias ativas, como o Ensino por Investigação (EI), torna-se essencial para engajar os alunos no processo de aprendizado e promover a construção autônoma do conhecimento.

Nesse contexto, o desafio de ensinar biotecnologia vai além da mera explicação de conceitos científicos. É necessário adotar uma abordagem pedagógica inovadora que promova a discussão sobre o papel da biotecnologia na sociedade contemporânea, abordando os impactos éticos e sociais de suas aplicações, bem como incentivando esse olhar crítico (Nascimento; Alencar, 2020).

Surge, assim, uma questão essencial de ensino: como ensinar biotecnologia de modo que os alunos não apenas compreendam os conceitos, mas também desenvolvam a capacidade de avaliar criticamente informações científicas e tecnológicas, especialmente em um ambiente saturado de desinformação?

A Sequência Didática Investigativa (SDI) proposta tem como foco o estudo das vacinas e suas aplicações biotecnológicas, visando enfrentar diretamente essa questão. A SDI é uma ferramenta para auxiliar os alunos na compreensão da evolução das vacinas, desde os primeiros estudos sobre imunização até as vacinas de RNA mais modernas, e para destacar os benefícios das inovações biotecnológicas para a sociedade. Mais importante ainda, espera-se que essa abordagem auxilie os estudantes no desenvolvimento de uma capacidade crítica para analisar o que consomem na mídia e nas redes sociais, desafiando os preconceitos e as informações falsas que cercam a ciência, especificamente a vacinação.

Durante as atividades, os alunos são incentivados a questionar o impacto da biotecnologia em suas vidas e a confrontar informações falsas com dados científicos, fomentando uma cultura de pensamento crítico. Dessa maneira, promove-se não apenas a aquisição de conhecimento teórico, assim como o desenvolvimento de competências investigativas e argumentativas essenciais para a formação de cidadãos críticos e conscientes.

Ao final da SDI, espera-se que os alunos consolidem um entendimento robusto sobre a biotecnologia e suas aplicações, e que desenvolvam habilidades para identificar e questionar a desinformação que permeia o debate público sobre ciência. Isso promoveria a formação de indivíduos mais preparados para participar de discussões científicas, tanto no ambiente escolar quanto na sociedade, e fortaleceria sua capacidade de tomar decisões informadas e éticas sobre questões científicas que impactam diretamente suas vidas.

1.1 Ensino por Investigação em Biotecnologia

A biotecnologia é uma área do conhecimento que tem contribuído significativamente para o desenvolvimento humano desde a antiguidade. Suas primeiras aplicações práticas foram

em processos de fermentação, usados na produção de alimentos como pães, vinhos e cervejas. Ao longo dos séculos, com o avanço das inovações tecnológicas, essa área possibilitou descobertas médicas fundamentais, como a penicilina, e a criação das primeiras vacinas. Mais recentemente, a biotecnologia tem avançado de forma acelerada com o desenvolvimento de tecnologias de ponta, como o DNA recombinante, impactando de maneira profunda a medicina, a agricultura e a indústria (Lima; Santos, 2022).

Biotechnologia, de forma ampla, refere-se ao uso de organismos vivos ou de processos biológicos para desenvolver produtos ou soluções tecnológicas. Atualmente, esse campo é conhecido como um ramo das ciências que, dentre outras áreas de estudo e aplicações, também se vale dos princípios da engenharia genética na criação de novos produtos, tanto na agricultura quanto nos processos industriais e médicos (Esquiavan; Silva, 2024). A manipulação do DNA, em particular, tem permitido a criação de novas técnicas terapêuticas, o aprimoramento de espécies vegetais e animais, além de medicamentos inovadores.

No contexto do Ensino Médio, o ensino de biotecnologia tem o objetivo não apenas de fornecer uma base científica sólida, mas também de contribuir para a formação de alunos capazes de refletir sobre os avanços tecnológicos e suas implicações para a sociedade. Uma educação científica eficaz deve garantir que os estudantes adquiram uma compreensão profunda da biotecnologia e seus desdobramentos, desenvolvendo uma cultura científica e tecnológica que será essencial para seu crescimento pessoal e para sua atuação enquanto cidadãos críticos e conscientes (Sardinha; Costa, 2021).

A biotecnologia, por lidar diretamente com a manipulação da vida, também levanta questões éticas que precisam ser abordadas no processo de ensino, desde a produção até o consumo de produtos derivados dessas tecnologias (Correa; Galieta, 2020). Ensinar biotecnologia no Ensino Médio apresenta uma série de desafios, especialmente devido ao caráter abstrato de conceitos fundamentais, como DNA, RNA e manipulação genética. (Silva et al., 2022)

Esses temas envolvem processos moleculares que não são visíveis a olho nu, o que dificulta a compreensão concreta por parte dos alunos. A ausência de uma visualização direta desses fenômenos tende a gerar uma desconexão entre a teoria e suas aplicações práticas, contribuindo para um menor engajamento dos estudantes. Termos como DNA recombinante, vacinas de RNA mensageiro (RNAm) e expressão gênica requerem uma base científica sólida, a qual muitos alunos continuam em processo de desenvolver (Pelizzari; Silva; Felipe, 2022).

Além disso, a abordagem tradicional de ensino, muitas vezes centrada em aulas expositivas e textos teóricos, geralmente não atende às necessidades dos alunos para

assimilação e contextualização dos conteúdos em biotecnologia. A linguagem técnica, somada à falta de recursos práticos e experimentais que tornem o aprendizado mais visual e acessível, intensifica essa dificuldade (Gonçalves et al., 2024).

A ausência de atividades práticas que permitam aos alunos observarem o impacto da biotecnologia em suas vidas cotidianas acaba criando uma lacuna considerável entre teoria e prática. Esse distanciamento frequentemente resulta em desinteresse pelo tema e na construção de uma compreensão superficial dos conceitos envolvidos (Silva; Melo, 2023).

Nos últimos anos, a proliferação de notícias falsas (*fake news*), especialmente nas redes sociais, aumentou ainda mais as dificuldades enfrentadas pelos professores ao abordar temas biotecnológicos, como as vacinas de RNA. Muitos alunos chegam à sala de aula já expostos a informações incorretas ou distorcidas, ferramentas do obscurantismo e do relativismo, que dificultam ainda mais o trabalho do professor em explicar conceitos complexos (Pacheco; Saavedra, 2024).

As vacinas de RNA, por exemplo, são frequentemente alvo de desinformação, o que leva os estudantes a desenvolverem preconceitos e desconfiança quanto à segurança dessas tecnologias. O professor, portanto, enfrenta o desafio não apenas de ensinar os conceitos abstratos de DNA e RNA, mas também de desconstruir mitos e combater a resistência ao conhecimento científico que pode surgir como consequência da desinformação (Marcelo et al., 2023).

Diante desse cenário, o uso de metodologias ativas no ensino de biotecnologia torna-se essencial para promover uma aprendizagem mais significativa. Pois elas estimulam a autonomia e o protagonismo dos estudantes, uma vez que a aprendizagem se dá de maneira colaborativa e interdisciplinar. Essas também se valem de uma abordagem que leva em conta metodologias práticas que fazem usos dos avanços tecnológicos para uma prática pedagógica que não se centrará apenas na transmissão de informações em aulas usando a metodologia tradicional (Silva; Pimentel, 2024). Entre elas pode-se mencionar as seguintes abordagens: gamificação, *design thinking*, cultura *maker*, aprendizado por problemas, estudo de caso, aprendizado por projetos, sala de aula invertida, seminários e discussões entre outras (TOTVS, 2024).

O Ensino por Investigação (EI) faz parte desse universo de metodologias e é uma alternativa eficaz, pois cria um ambiente investigativo em sala de aula, permitindo que os alunos atuem como protagonistas de seu próprio processo de aprendizagem. Nesse método, o professor não é apenas um transmissor de conteúdo, mas um mediador, orientando os alunos em investigações que simulam o trabalho científico real, onde se fazem perguntas, levantam-se

hipóteses, realizam-se experimentos e constroem-se explicações baseadas em evidências (Carvalho *et al.*, 2021).

O EI valoriza os conhecimentos prévios dos alunos e promove uma educação ativa, em que os estudantes são levados a serem protagonistas de seu aprendizado, desenvolvendo suas habilidades de investigação, análise crítica e tomada de decisões baseadas em evidências (Pires; Maciel, 2024). Esse método se baseia no levantamento de problemas ou questões que os alunos são desafiados a resolver por meio da investigação científica, o que os envolve em um processo de descoberta e construção ativa do conhecimento.

Por meio desse processo, os alunos são levados a experimentar, levantar hipóteses, testar suas ideias e chegar a conclusões, o que facilita uma compreensão mais profunda dos conceitos e promove a alfabetização científica (BNCC, 2018).

Outro aspecto relevante no ensino de biotecnologia é a necessidade de abordar, além dos conceitos científicos, as implicações éticas e sociais dessas tecnologias. Os avanços biotecnológicos têm proporcionado inúmeros benefícios à sociedade, como o desenvolvimento de vacinas, alimentos transgênicos e novos medicamentos. No entanto, eles também geram debates éticos sobre como esses conhecimentos estão sendo usados e quais impactos eles têm no meio ambiente e na vida das pessoas (Vasconcelos, 2021). O professor de biologia deve, portanto, ir além da explicação técnica dessas inovações e promover debates que estimulem o pensamento crítico dos alunos sobre as implicações mais amplas da biotecnologia.

Neste contexto, a Sequência Didática Investigativa (SDI) proposta nesta dissertação foi desenvolvida para tratar o ensino de biotecnologia, com foco em vacinas de RNA, uma inovação tecnológica que ainda não é totalmente compreendida pelos estudantes, mas que está cada vez mais presente no cotidiano, especialmente após a pandemia de COVID-19. A abordagem investigativa proposta, ao envolver os alunos em atividades práticas e interativas, visa não apenas superar as dificuldades relacionadas à abstração dos conceitos moleculares, mas também combater a desinformação que pode influenciar negativamente a compreensão e aceitação de tecnologias como as vacinas de RNA.

Ao adotar a SDI, os alunos têm a oportunidade de explorar ativamente os conceitos, discutir suas implicações e desenvolver uma postura crítica frente à sociedade contemporânea, compreendendo a biotecnologia não apenas como um conjunto de técnicas, mas como um campo que envolve escolhas éticas e sociais fundamentais para o futuro.

1.2 Biotecnologia e vacinas de RNA

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2024), as vacinas representam a maior invenção médica em termos de vidas salvas. Antes do surgimento das vacinas modernas, práticas como a variolação eram amplamente utilizadas, especialmente em países orientais durante o século XV. Essa técnica consistia em expor pessoas saudáveis ao vírus da varíola humana como forma de imunização. Embora a origem exata não seja muito clara, há relatos de que essa prática era aplicada desde o século II d.C., o que demonstra uma busca ancestral por mecanismos de proteção contra doenças (Costa *et al.*, 2022).

No século XVIII, Lady Mary Montagu, ao presenciar a prática da variolação durante uma viagem à Turquia, resolveu introduzir essa técnica na Inglaterra. Em 1721, ela inoculou suas filhas e outros indivíduos, ajudando a popularizar a variolação em solo europeu. Anos mais tarde, em 1774, Benjamin Jesty demonstrou que a exposição ao vírus bovino poderia também proteger humanos contra a varíola humana, destacando-se como um avanço importante rumo ao desenvolvimento das vacinas modernas (Santos; Almeida, 2024).

Em 1796, Edward Jenner, considerado o "pai" das vacinas, realizou um experimento marcante ao inocular um menino de 8 anos, James Phipps, com o vírus bovino. O garoto apresentou uma reação leve, mas logo se recuperou, e meses depois, quando exposto ao vírus da varíola humana, não contraiu a doença. Esse episódio histórico marcou o surgimento do termo "vacina", derivado do latim "vacca", que significa vaca, em referência ao uso do vírus bovino (Neufeld, 2021).

O desenvolvimento da primeira vacina laboratorial foi feito por Louis Pasteur, em 1872, contra a cólera. Desde então, vacinas contra várias doenças, como raiva, difteria, gripe espanhola, febre-amarela, poliomielite, entre outras, foram desenvolvidas (Aliaga; Souza, 2021). Ao longo das décadas, campanhas de vacinação coletiva tiveram papel fundamental na redução de casos de doenças infecciosas e no aumento da expectativa de vida global. A figura 1 mostra uma linha do tempo sobre o desenvolvimento das vacinas com os principais acontecimentos.

Em 1974 a técnica do DNA recombinante tornou possível isolar genes de uma espécie e inserir em outra, combinando assim DNA de duas espécies em um novo organismo (Ferreira; Queiroz; Carvalho, 2024). Essa inovação foi um marco muito importante na evolução da biotecnologia, o que tornou possível novas técnicas de produção de medicamentos, de alimentos, de combustível entre outros e, mais recentemente, de vacinas mais seguras e eficazes. A manipulação genética se tornou central no desenvolvimento de vacinas de RNAm.

O primeiro estudo documentado sobre vacinas utilizando RNAm foi realizado em 1990, com ratos inoculados que produziram proteínas a partir do RNAm. Em 1992, outro estudo demonstrou que o RNAm poderia ser administrado no hipotálamo de ratos, resultando em uma resposta fisiológica (Barbier *et al.*, 2022; Pardi *et al.*, 2018).

Figura 1 - Linha do tempo sobre a evolução no desenvolvimento das vacinas, desde os primeiros relatos de imunização para o combate de infecções até o início dos estudos sobre vacinas de RNAm.

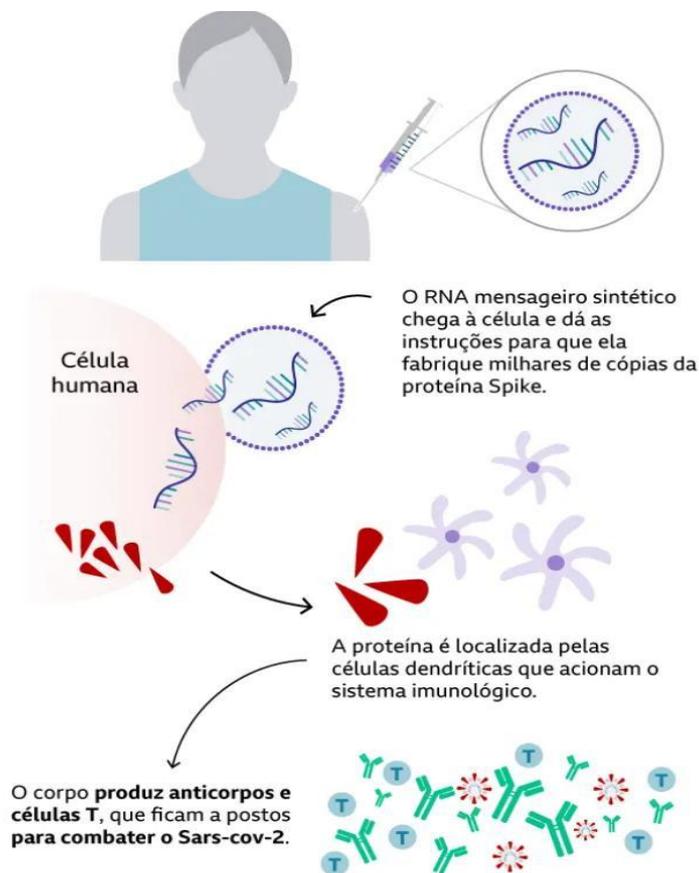


Fonte: Elaborada pela autora (2024).

As vacinas convencionais, apesar de eficazes, enfrentam desafios quanto à rápida produção em larga escala e à limitação de sua aplicação a doenças emergentes ou não infecciosas. Em contrapartida, as vacinas de RNAm surgiram como uma solução promissora. (Silva; Pontes, 2024). Diferente das convencionais, as de RNAm, fazem uso de material genético para induzir uma resposta imune (Silva et al., 2018).

Essas vacinas contêm a informação genética para instruir as células humanas a produzir uma proteína específica que ativa a resposta imune (Figura 2). A aplicação em larga escala dessa tecnologia durante a pandemia comprovou sua eficácia não apenas no combate à COVID-19, mas também no potencial para a criação de vacinas que podem ser usadas em outras doenças infecciosas (Barbier *et al.*, 2022). Assim, a pandemia desempenhou um papel fundamental na validação global das vacinas de RNAm.

Figura 2 - Ilustração de como a vacina atua no interior da célula, mostrando que o RNAm contém a instrução para a montagem da proteína espícula.



Fonte: BBC News Brasil, tirada da Revista Nature (2024).

O potencial dessas vacinas para o tratamento de cânceres e outras doenças, também ressalta a sua importância. Estudos pelo mundo já em estágios avançados, revelam uma perspectiva promissora em identificar, infectar e matar células tumorais, bem como promover uma resposta imunológica antitumoral. A capacidade do RNAm de atuar como um potente estimulador do sistema imune inato também é explorada nas vacinas de RNAm. Essas

características fazem-nas uma tecnologia segura, simples de produzir e altamente eficaz (Vishweshwariah; Dokholyan, 2022).

As vacinas de RNA utilizam as células humanas como "fábricas" de produção de proteínas, oferecendo vantagens como a modificação pós-traducional de proteínas com menor potencial imunogênico e a produção de proteínas multiméricas que não podem ser facilmente alcançadas por outras tecnologias (Silva; Cavalcante, 2021).

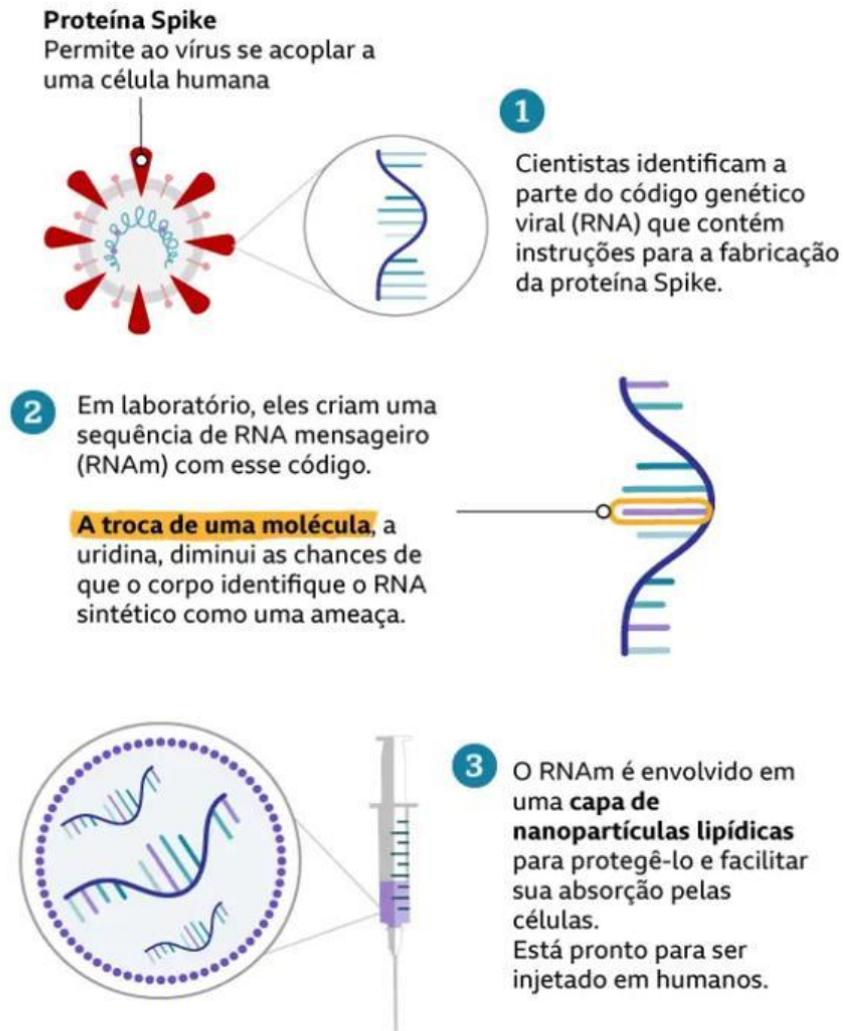
A estabilidade do RNAm é um desafio constante, pois sua rápida degradação pelas RNases compromete sua eficácia. Regiões como a cap 5' e a cauda poli(A) desempenham papéis importantes na estabilidade e tradução do RNAm. Novas técnicas, como a adição de caps 5' sintéticas e a extensão da cauda poli(A) por meio da enzima poli(A) polimerase, têm ajudado a otimizar a produção de proteínas a partir do RNAm (Castro *et al.*, 2023; Pardi *et al.*, 2018; Barbier *et al.*, 2022).

Outro desafio é a entrega intracelular eficiente das vacinas de RNAm. Atualmente, pesquisas estão focadas na formulação de nanopartículas lipídicas e nanopartículas poliméricas que encapsulam o RNAm como está ilustrado na Figura 3, garantindo sua entrega segura às células-alvo. Essas nanopartículas são modificadas com ligantes específicos para otimizar a entrega e garantir uma resposta imune eficiente (Costa, 2023).

A produção de vacinas de RNAm enfrentou obstáculos significativos, principalmente devido à instabilidade do RNAm no organismo, o que retardou o avanço dessa tecnologia por anos. Entretanto, o cenário mudou drasticamente com a pandemia de COVID-19, iniciada em 2019, que transformou o setor biotecnológico (Oliveira; Andolfatto; Ferraz, 2022).

A necessidade urgente de uma vacina eficaz contra o SARS-CoV-2 impulsionou as pesquisas sobre vacinas de RNAm. Devido à capacidade de produção rápida e em larga escala, o RNAm tornou-se uma alternativa viável para a fabricação global de vacinas, destacando-se a vacina da Pfizer-BioNTech, uma das primeiras a obter autorização para uso emergencial no Brasil (ANVISA, 2021).

Figura 3 - Descrição dos passos para a criação de uma vacina de RNAm.



Fonte: BBC News Brasil, retirada da Revista Nature; Norbert Pardi, Universidade da Pensilvânia; Pfizer; Moderna (2024).

Portanto, o ensino sobre vacinas de RNAm, abordado nesta SDI, permitirá aos alunos entenderem melhor os conceitos de DNA e RNA, especialmente em um contexto em que muitas notícias falsas circulam. A aprendizagem desses conceitos pode ajudar a combater a desinformação, fornecendo uma base científica sólida sobre as vacinas e seus mecanismos de ação.

1.3 O Uso de vacinas e as *Fake News*

Atualmente, os alunos estão imersos em um ambiente saturado de informações, principalmente com o acesso facilitado às tecnologias digitais. Essa vasta quantidade de dados, que pode ser uma vantagem para o aprendizado e a formação, também representa um desafio significativo. Um dos maiores desafios enfrentados no processo educacional contemporâneo é garantir uma formação sólida e crítica dos estudantes, capacitando-os a diferenciar entre fatos e inverdades. Esse discernimento é essencial para eles priorizarem o conhecimento científico como ferramenta para melhorar a qualidade de vida (Pedrosa; Costa, 2020). A habilidade de avaliar criticamente as informações se torna fundamental em tempos de disseminação massiva de desinformação, especialmente relacionada à saúde pública.

A rapidez e a facilidade com que se acessa informações na era digital proporcionam benefícios incontestáveis, como o acesso democrático ao conhecimento e à inovação. No entanto, essa facilidade também acarreta problemas específicos e característicos dos ambientes virtuais (Amêndola *et al.*, 2021). Entre esses problemas está a insegurança informativa, ou seja, a dificuldade de verificar a veracidade e a confiabilidade das informações encontradas online. Uma das consequências mais preocupantes desse fenômeno é a propagação mundial de notícias falsas, ou “*fake news*”, que têm o potencial de comprometer a credibilidade da ciência e diminuir o valor da verdade científica. O impacto das “*fake news*” é particularmente perigoso no campo da saúde, onde desinformações podem influenciar decisões com graves consequências (Vieira *et al.*, 2019).

Um exemplo notório dessa desinformação está relacionado à vacinação. Desde a introdução das vacinas, muitos avanços foram feitos no combate a doenças infecciosas. Vacinas permitiram a erradicação de doenças como a varíola e a redução significativa da incidência de outras, como poliomielite, sarampo e difteria. No entanto, mesmo diante desse histórico de sucesso, movimentos antivacinação emergiram e continuam a ganhar força, especialmente nas últimas décadas. Esses movimentos, muitas vezes impulsionados por teorias conspiratórias e desinformação, têm levado um número crescente de pessoas a questionar a segurança e a eficácia das vacinas (Souza, 2020).

Essa desconfiança disseminada pela desinformação não afeta apenas a saúde individual, mas representa uma ameaça significativa à saúde pública global. Como Pedrosa; Costa (2020) ressaltam, a recusa em vacinar não é apenas uma ameaça à saúde pessoal, mas uma ameaça à saúde mundial, pois compromete décadas de progresso no controle de doenças infecciosas.

A propagação de *fake news* sobre vacinas ilustra como a desinformação pode comprometer os avanços conquistados na saúde pública, expondo a sociedade a riscos significativos. Combater essa desinformação é um dos principais desafios enfrentados por educadores e profissionais de saúde, exigindo abordagens eficazes que incluam o esclarecimento de dúvidas, a promoção do conhecimento científico e o fortalecimento da confiança nas vacinas (Brígida et al., 2021).

Nesse contexto, o papel da educação é central para garantir que os estudantes desenvolvam uma postura crítica e reflexiva diante das informações que consomem, principalmente no que diz respeito às vacinas. A SDI surge como uma estratégia pedagógica eficaz para abordar esses temas. O início da aplicação da SDI se dá com a análise de uma notícia falsa, gerando a problematização e incentivando a reflexão crítica dos alunos sobre vacinas de RNA. A partir dessa abordagem, busca-se desconstruir os mitos e a desinformação em torno do tema, além de contextualizar o desenvolvimento tecnológico por trás das vacinas, suas implicações éticas, desafios e promessas futuras.

Essa desconstrução faz parte do processo de letramento científico dos alunos, muito essencial na formar cidadãos capazes de tomar decisões informadas e conscientes sobre as questões que afetam a sociedade. Isso é especialmente relevante em um contexto de desinformação generalizada e crescente influência das redes sociais na formação de opiniões. Muitos alunos não têm uma base científica sólida para avaliar criticamente as informações que recebem, o que torna o ensino de biotecnologia ainda mais desafiador (BNCC, 2018).

A aplicação dessa metodologia possibilita que os alunos adquiram conhecimentos sobre biotecnologia e vacinas, além de desenvolverem a capacidade de avaliar criticamente as informações veiculadas na mídia e nas redes sociais. Nesse contexto, o letramento científico e midiático surge como uma ferramenta fundamental para que os estudantes façam escolhas informadas e conscientes. Ao aprimorarem suas habilidades de análise crítica, os alunos não apenas compreendem mais profundamente os avanços científicos, mas também se tornam cidadãos mais responsáveis e conscientes, especialmente no enfrentamento de desafios sociais, como a disseminação de *fake news* (Leite; Kondarzewski, 2023).

Além disso, a discussão sobre vacinas em sala de aula deve enfatizar que o desenvolvimento de tecnologias como as vacinas de RNA é resultado de décadas de pesquisas rigorosas, com base científica sólida. Ao desmistificar informações falsas, os alunos são conduzidos a uma compreensão mais completa e fundamentada dos benefícios e desafios da biotecnologia, o que promove um ambiente de aprendizagem mais participativo e engajado.

2. OBJETIVO GERAL

Contextualizar o ensino de biotecnologia por meio do estudo do desenvolvimento de vacinas de RNA, abordando conceitos fundamentais, benefícios para a saúde pública e perspectivas futuras, a fim de tornar o conteúdo científico relevante e aplicável ao cotidiano dos alunos.

2.1 Objetivos específicos

- Desenvolver uma sequência didática investigativa sobre biotecnologia, com foco no desenvolvimento e na aplicação de vacinas de RNA, para estimular o pensamento crítico e reflexivo dos estudantes;
- Incentivar a reflexão crítica sobre o tema das vacinas de RNA e sua suposta capacidade de alterar o DNA, por meio da problematização de uma reportagem com uma notícia falsa, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico frente à desinformação;
- Realizar uma simulação, em ambiente escolar, dos impactos da vacinação em uma população hipotética durante uma epidemia infecciosa, permitindo aos alunos compreenderem, de forma prática e lúdica, os benefícios coletivos da imunização.;
- Promover o diálogo e o pensamento crítico entre os alunos por meio de rodas de conversa, debates e a elaboração de um texto reflexivo sobre a segurança das vacinas, promovendo a autonomia na tomada de decisões baseadas em evidências científicas.

3. METODOLOGIA

A SDI foi implementada em uma série de 6 aulas para uma turma do 3º ano do Ensino Médio em Tempo Integral (EMTI) na Escola Estadual Belmiro Braga, localizada no município de Belmiro Braga, Minas Gerais. Mas cabe ressaltar que também poderia ser aplicada em turmas do Ensino Médio Regular ou em um contexto interdisciplinar.

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Juiz de Fora, com parecer número 6.800.488. Os dados utilizados na análise referem-se exclusivamente aos alunos que consentiram formalmente com sua participação, por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (para maiores de idade ou responsáveis) e do Termo de Assentimento.

As aulas, cada uma com duração de 50 minutos, seguiram uma abordagem qualitativa para avaliar as percepções dos alunos ao longo das atividades. As observações foram registradas em um diário de bordo e analisadas segundo a metodologia de análise de conteúdo proposta por Bardin (2011) com pré-análise de conteúdo, exploração do material e tratamento dos resultados com interpretação. Cada aula foi estruturada em diferentes etapas, somando um total de 6 momentos investigativos distintos.

Posteriormente, os alunos são incentivados a levantar e testar hipóteses, culminando na discussão dos resultados obtidos. Por fim, essa trajetória de aprendizagem se encerra com a consolidação dos conhecimentos adquiridos, promovendo uma compreensão mais profunda e crítica dos conceitos abordados.

3.1 Primeiro Momento

Na primeira aula, foi apresentada a problematização inicial. Os alunos receberam um trecho impresso de uma reportagem intitulada “Bill Gates vai inserir RNA mensageiro na fórmula da Coca-Cola para modificar DNA das pessoas” (disponível em: <https://www.boatos.org/mundo/bill-gates-vai-inserir-rna-mensageiro-coca-cola-para-modificar-dna-pessoas.html>). Publicada em 29 de abril de 2023 e escrita por Edgard Matsuki, a notícia falsa afirmava que Bill Gates havia orquestrado a inserção de RNAm na Coca-Cola visando modificar o DNA das pessoas, reduzindo, assim, a população. A matéria também incluía depoimentos de supostas testemunhas, alegando que Gates havia adquirido parte da empresa para realizar tal intervenção.

A partir da leitura da reportagem, os alunos foram estimulados a refletir e levantar questionamentos espontâneos sobre o conteúdo. Eles foram orientados a elaborar perguntas

com base em suas compreensões ou em quaisquer dúvidas que surgissem. Essa etapa de questionamento livre foi fundamental para incentivá-los a investigar o tema a partir de suas próprias percepções e curiosidades. Em seguida, ainda na mesma aula, os estudantes foram motivados a propor possíveis explicações para os questionamentos levantados, mesmo que as respostas iniciais fossem apenas tentativas ou especulações. O objetivo era incentivar a criatividade e a formulação de hipóteses iniciais, promovendo uma construção ativa do conhecimento.

Essas perguntas tinham como objetivo ativar o raciocínio dos alunos e incentivá-los a desenvolver explicações e hipóteses próprias para cada questão, criando um ambiente de investigação estimulante. A liberdade oferecida durante essa etapa foi essencial para garantir a construção do protagonismo dos estudantes e fomentar a criatividade, aspectos fundamentais para uma aprendizagem ativa e significativa.

3.2 Segundo Momento

Carvalho *et al.* (2021) destacam que etapas investigativas podem ser incorporadas a qualquer tipo de atividade educativa, não se restringindo apenas às aulas experimentais. Seguindo essa perspectiva, na segunda aula, os alunos foram levados à sala de informática para buscar respostas às hipóteses formuladas na aula anterior, investigando em fontes confiáveis na internet. A professora orientou os alunos sobre como identificar informações de qualidade, indicando a consulta em sites de universidades, páginas oficiais de órgãos governamentais e portais de notícias com credibilidade, onde são especificados nomes de repórteres e critérios de verificação.

Durante essa atividade, os alunos pesquisaram em pares ou trios, discutindo entre si sobre os dados encontrados e avaliando a validade de suas hipóteses.

3.3 Terceiro e quarto momento

Na terceira aula, os alunos compartilharam os resultados de suas investigações, relacionando os novos conhecimentos adquiridos com as hipóteses formuladas na primeira aula. Durante esse momento incentivou-se os alunos a estabelecerem conexões entre suas ideias iniciais e as informações obtidas na investigação. Essa mediação buscava orientar os estudantes em um raciocínio lógico, estimulando-os a tomar decisões fundamentadas em evidências.

Na quarta aula, os estudantes participaram de uma simulação prática sugerida por Patto *et al.*, (2019), para compreender melhor os conceitos de vacinação e a propagação de uma

epidemia em uma população hipotética. Esta prática utilizou materiais de fácil acesso para proporcionar uma compreensão visual e concreta do impacto da vacinação na contenção de doenças infecciosas, descritos a seguir:

- 1 pacote de copo descartável de café;
- 500 ml de vinagre de álcool;
- 200 ml de solução de soda cáustica (NaOH), concentração a 1%;
- 1 g de NaOH;
- 300 ml de água potável;
- 100 ml de solução de fenolftaleína, concentração a 10%;
- 10 g de fenolftaleína;
- 2 pipetas de plástico;
- 1 becker (para misturar a fenolftaleína).

Inicialmente, cada estudante recebeu um copo descartável de café. Dois terços dos copos foram preenchidos com 10 ml de água potável, representando indivíduos não vacinados. O terço restante foi preenchido com 10 ml de vinagre de álcool, simulando os indivíduos vacinados.

Para simular a exposição ao agente infeccioso, uma solução de soda cáustica 1% (NaOH) foi preparada - misturando 1g do composto em 200 ml de água - para representar o agente infeccioso. Usando pipetas plásticas, a solução de NaOH foi adicionada, gota a gota, a todos os copos de forma uniforme, pingando-se 4 gotas em cada copo. Esse processo simboliza a exposição da população ao agente infeccioso.

Em seguida, a "testagem de contaminação" foi realizada adicionando aproximadamente quatro gotas da solução de fenolftaleína 10% (misturando 10 g do composto em 100 ml de água) a cada copo.

Para ampliar a experiência, foi feita uma nova simulação para explorar o impacto de uma maior cobertura vacinal. Aos indivíduos não vacinados, foram adicionados um pouco de vinagre, depois da exposição, e observou-se o que aconteceu.

3.4 Quinto Momento

Nesta aula foram utilizadas estratégias como a leitura de uma reportagem, roda de conversa e a exibição de um vídeo, proporcionando uma abordagem prática e interativa para o ensino de biotecnologia e vacinas de RNA.

A aula foi iniciada com a distribuição de cópias impressas da reportagem “Câncer a gripe, as doenças na mira de novas vacinas de mRNA após Covid” (disponível em

<https://www.bbc.com/portuguese/articles/c21pnp05ddvo>), publicada pela BBC News Brasil em 9 de maio de 2023, de autoria de André Biernath. A reportagem abordava a função do RNA, trazia um breve histórico sobre a produção de vacinas de RNA e discutia sua importância durante a pandemia. Além disso, apontava possíveis aplicações futuras dessa tecnologia, como o combate à gripe e ao câncer. Com o texto em mãos, os alunos participaram de uma discussão guiada pela professora, que estimulou questionamentos sobre os conceitos apresentados.

Após a leitura e discussão da reportagem, foi exibido um vídeo complementar intitulado “Por que as vacinas contra o covid-19 não alteram seu DNA” (disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Qb9k2U_1rNc), publicado pelo canal DW Brasil no YouTube em 28 de julho de 2021. Com duração de cinco minutos, o vídeo aborda de maneira didática como funcionam as vacinas de RNA e explica por que elas não interferem no DNA humano. A professora orientou os alunos a observarem especificamente as explicações sobre a incapacidade do RNA das vacinas de modificar o DNA humano.

Após a exibição do vídeo, abriu-se um momento para que os alunos pudessem compartilhar suas opiniões e comparar as novas informações com as percepções iniciais que tinham sobre as vacinas de RNA. Os estudantes foram incentivados a refletir sobre o que já haviam ouvido a respeito do tema antes do início das aulas, revisando e ajustando suas ideias à luz dos conhecimentos adquiridos. Essa conversa final serviu para consolidar os aprendizados, reforçando a importância de uma compreensão fundamentada em evidências científicas.

3.5 Sexto Momento

Para consolidar o aprendizado e estimular a expressão dos estudantes sobre suas reflexões e conclusões, cada aluno foi orientado a escrever um texto entre 15 e 30 linhas abordando a questão: “O que eu sei sobre vacinas de RNA? São seguras?”. Após a escrita, os textos foram compartilhados em sala, promovendo uma troca de ideias que possibilitou à professora avaliar a compreensão individual e coletiva sobre o tema.

Além dos textos, a professora utilizou um diário de bordo com perguntas orientadoras para avaliar o processo de aprendizado e identificar áreas onde intervenções mais específicas poderiam ser necessárias. As questões incluídas no diário estão no ANEXO II.

Ao final, foi analisado se os estudantes questionaram a veracidade das afirmações sobre RNA e controle populacional apresentadas na reportagem, e quantos alunos expressaram dúvidas ou levantaram questões a esse respeito.

O diário de bordo também ajudou a orientar a análise de aspectos específicos do aprendizado, com perguntas como: "Quais perguntas foram levantadas?", "Essas perguntas deram origem a hipóteses?", "Os alunos conseguiram confirmar ou refutar suas hipóteses?", e "Houve uma participação ativa nas discussões em grupo e na simulação?". Durante a simulação, o engajamento dos alunos foi monitorado para avaliar seu interesse e verificar se a atividade cumpria seu papel pedagógico.

Por fim, os textos produzidos pelos alunos foram revisados para avaliar sua capacidade de expressar o que haviam compreendido. Com base nas respostas registradas no diário de bordo, foi possível verificar se os alunos conseguiram distinguir entre DNA e RNA e entender as funções de cada uma dessas moléculas na célula. Essa análise qualitativa permitiu à professora acompanhar a assimilação dos conceitos fundamentais de genética e biotecnologia, além de observar o progresso dos alunos na compreensão de como esses conhecimentos se relacionam com o desenvolvimento de vacinas e a importância dessas moléculas para o funcionamento celular e a criação de tecnologias biomédicas.

4. RESULTADOS

As análises qualitativas foram conduzidas para avaliar as interações dos estudantes, baseadas no diário de bordo anteriormente mencionado e nos seguintes aspectos:

- **Interações entre os Estudantes:** Durante as atividades de problematização e nas rodas de conversa, observou-se atentamente como os alunos expressavam suas opiniões, formularam perguntas e interagiram uns com os outros. A análise levou em conta o nível de participação, a qualidade das perguntas e a habilidade dos alunos em discutir conceitos científicos. Esses aspectos ajudaram a identificar o desenvolvimento do pensamento crítico e o progresso dos estudantes na compreensão do tema.
- **Hipóteses Formuladas:** Na etapa de formulação de hipóteses foi avaliada a capacidade dos alunos de criar hipóteses coerentes e bem embasadas nas informações disponíveis. Esse momento permitiu verificar a compreensão e sua aplicação na resolução de problemáticas científicas.
- **Processo de Investigação:** Durante a fase de pesquisa, observou-se como os alunos selecionavam e exploravam as fontes de informação. Além de avaliar a qualidade dos recursos consultados, verificou-se a habilidade dos alunos em distinguir fontes confiáveis de não confiáveis, e em ajustar suas hipóteses com base nas informações encontradas.
- **Produção Escrita:** A produção escrita dos alunos foi analisada em termos de clareza, profundidade argumentativa e capacidade de conectar os conceitos trabalhados com aplicações práticas, como as vacinas de RNA. Os textos revelaram a apropriação dos conteúdos e a evolução do pensamento crítico dos estudantes sobre biotecnologia e vacinação.
- **Relatos e Percepções dos Alunos:** Os relatos individuais e em grupo, onde os alunos compartilharam suas percepções sobre a experiência, proporcionaram uma visão qualitativa rica. Por meio desses depoimentos, identificaram-se os desafios enfrentados pelos alunos e os avanços na compreensão dos conceitos trabalhados, contribuindo para o aprimoramento da metodologia.
- **Superação de Equívocos e Correção de Falsos Conceitos:** Um aspecto fundamental da análise foi observar o quanto os alunos superaram equívocos iniciais, como a crença incorreta de que vacinas de RNA poderiam alterar o DNA. Ao comparar as hipóteses iniciais com as conclusões finais, verificou-se que a problematização e o debate

fundamentado em evidências científicas foram essenciais para desconstruir concepções errôneas.

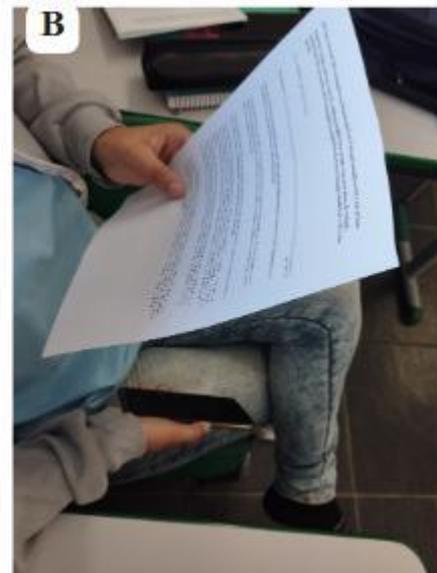
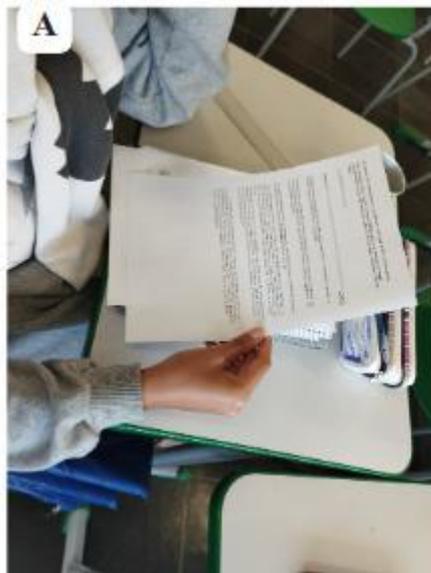
- **Engajamento e Colaboração:** O engajamento e a colaboração entre os alunos foram avaliados ao longo das atividades investigativas. A cooperação e a troca de ideias favoreceram uma aprendizagem coletiva mais significativa, fortalecendo o senso de pertencimento e a construção conjunta do conhecimento.

4.1 Primeiro Momento

A leitura do trecho da reportagem “Bill Gates vai inserir RNA mensageiro na fórmula da Coca-Cola para modificar DNA das pessoas”, disponível no ANEXO IV, ocorreu com a participação ativa de todos os estudantes na leitura (Fotografia 1).

Durante a etapa de problematização, a turma mostrou interesse e vontade de aprender. A leitura do texto proposto despertou curiosidade e levantou questionamentos relevantes entre os estudantes. Inicialmente, houve certa hesitação para formular perguntas, pois muitos acreditavam que precisavam ser altamente elaboradas para serem válidas.

Fotografia 1 - Momento de leitura do trecho da reportagem pelos estudantes. Alunos lendo o texto em A e B.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

O Gráfico 1 ilustra as opiniões dos alunos a respeito dessa matéria apresentada. Os dados refletem que 80% dos alunos, representados pela cor laranja, identificaram a matéria como uma *fake news*, enquanto 20% dos alunos, em azul, consideraram a possibilidade de a notícia ser verdadeira. Esses resultados evidenciam uma compreensão inicial predominante entre os estudantes sobre o conceito de *fake news* e a importância de questionar criticamente informações divulgadas na mídia.

Gráfico 1 - Opinião inicial dos alunos sobre a notícia falsa.



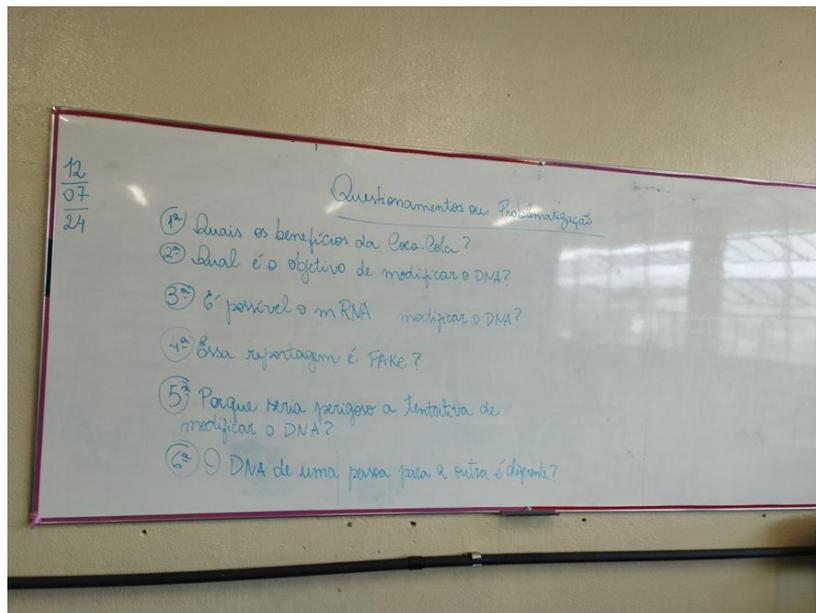
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Durante a atividade, os alunos apresentaram diversas perguntas espontaneamente, que a professora anotou no quadro para discussão (Fotografia 2). Os estudantes demonstraram incerteza sobre a veracidade da reportagem, levantando dúvidas sobre se o conteúdo era uma *fake news* e se os eventos descritos seriam realmente possíveis. Esse questionamento gerou inúmeras perguntas, refletindo um engajamento dos estudantes com o tema.

Todas as perguntas dos alunos foram transcritas no ANEXO III e registradas na fotografia 2, com destaque no Quadro 1 para algumas das principais questões, acompanhadas das hipóteses formuladas por eles para tentar respondê-las. A participação foi tão satisfatória que a professora não precisou fazer perguntas adicionais para estimular o diálogo, com muitos

alunos elaborando mais de uma hipótese para uma única pergunta (como ocorre nas perguntas 1 e 5, Quadro 1).

Fotografia 2 - Perguntas levantadas pelos alunos após a leitura da notícia falsa sobre a alteração do DNA por meio de RNAm inserido na Coca-Cola.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Com relação às vacinas de RNA, os alunos levantaram questionamentos e formularam hipóteses, como se observa nas perguntas 3 e 4 do Quadro 1. Um ponto de grande interesse foi a possibilidade de o RNA causar danos ao DNA, algo que haviam ouvido em seu convívio social e lido na reportagem discutida (vide pergunta 2, Quadro 1). A dúvida expressa em destaque, marcada em vermelho nas Figuras 3, A e B, também revelou que os estudantes não tinham clareza sobre o que era RNA e estavam curiosos para entender seu papel no organismo

Quadro 1- Algumas das perguntas e hipóteses formuladas pelos alunos.

Perguntas feitas	Hipóteses levantadas
1. Qual é o objetivo de modificar o DNA?	- Para controlar a população e a reprodução. - Para descobrir novas espécies. Poder juntar DNA de seres vivos diferentes e criar uma espécie. - Para criar imunidade contra a novas doenças e trazer curas de doenças sanguíneas.
2. Como é possível o RNAm modificar o DNA?	- O RNA de outros seres vivos é capaz de causar mutação e imunização.
3. O que é RNA?	- É o material genético que manda uma mensagem ao nosso Sistema imune para matar os organismos invasores.
4. O que as vacinas de RNA fazem?	- O RNA de outros seres vivos é capaz de causar mutação e imunização.
5. Por que seria perigoso a tentativa de modificar o DNA?	- Pode fugir do controle e gerar resultados inesperados. - Pode mudar o Sistema imune.

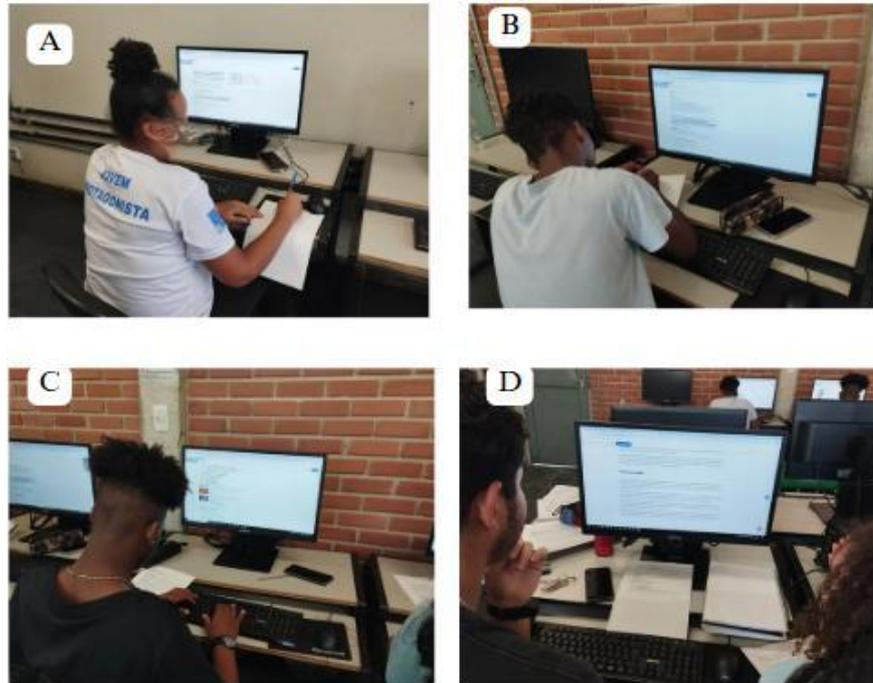
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.2 Segundo Momento

Durante a investigação foram esclarecidos pontos importantes de suas dúvidas (Fotografia 3). Os alunos foram organizados em grupos para testar suas hipóteses, o que os incentivou a aprofundar a pesquisa e a buscar evidências para confirmar ou refutar suas suposições. A turma demonstrou bom domínio do computador e não tiveram problemas para navegar em páginas da internet.

Nesse processo, foi necessário aprender a avaliar a confiabilidade das informações obtidas. Com o apoio da professora, os estudantes foram orientados a investigar em fontes seguras, como páginas de instituições acadêmicas e portais de notícias com autorias verificadas. Ao compartilharem os resultados de suas investigações, puderam confrontar suas hipóteses com dados concretos, permitindo uma análise crítica que possibilitou validar ou descartar as ideias iniciais.

Fotografia 3 - Momento da investigação dos alunos em páginas confiáveis da internet. Todos em A, B, C e D estavam fazendo suas investigações e compartilhando suas descobertas.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

4.3 Terceiro e quarto Momento

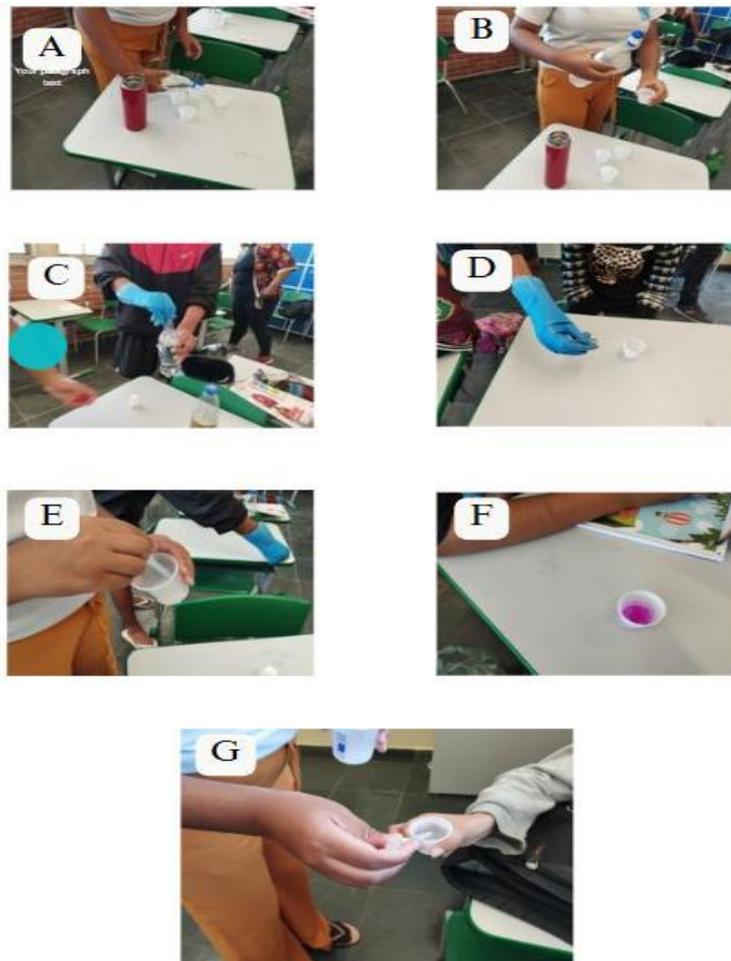
Na terceira aula, os estudantes apresentaram os resultados de suas investigações, focando nas hipóteses formuladas para responder às perguntas do Quadro 1. Essas questões orientaram o processo investigativo, embora nem todas as dúvidas e hipóteses registradas na Fotografia 2 tenham sido discutidas, pois algumas se afastam do objetivo principal da SDI. A professora mediou a discussão, pois muitos alunos ainda encontravam dificuldades para interpretar e conectar as informações que haviam pesquisado.

Ao examinar a hipótese de que o RNA seria um material genético diretamente responsável pela imunização, os alunos perceberam que essa explicação estava equivocada, demonstrando uma confusão inicial com o papel geral das vacinas. À medida que os conceitos de DNA, RNA, genes, biotecnologia e o funcionamento específico das vacinas eram discutidos, outras hipóteses também foram descartadas, permitindo aos alunos uma compreensão mais precisa sobre o tema, que complementava o conhecimento já existente.

A atividade de simulação ocorreu na quarta aula. Cada aluno recebeu um copo descartável com um pouco de água representando os indivíduos de uma população (Fotografia 4.A) e, em um terço dos copos, a água foi substituída por vinagre de álcool, simbolizando os

indivíduos vacinados dentro dessa população (Fotografia 4.B). Em seguida, toda a "população" foi exposta ao agente infeccioso hipotético, representado por gotas de uma solução de soda cáustica adicionadas a todos os copos (Fotografia 4.C e 4.D). Essa simulação possibilitou aos estudantes uma vivência prática da dinâmica de contaminação e imunização em massa.

Fotografia 4 - Aluna enchendo os copos com água (A), adicionando vinagre a alguns dos copos (B), estudante retirando a solução de soda cáustica (C), aplicando gotas da solução nos copos de todos os alunos e professores (D), aluna preparando a solução de fenolftaleína (E), simulação da testagem na população (F) e (G).



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Em seguida, foi realizada a simulação da testagem da população, para identificar o número de indivíduos "infectados". Para essa atividade, uma aluna preparou uma solução de fenolftaleína 10% (Fotografia 4.E, 4.F e 4.G). Com a solução pronta, procedeu-se à testagem da população simulada (Fotografia 4.F e 4.G). Essa etapa permitiu simular uma testagem em

massa, essencial para a compreensão do processo de identificação de contaminação em um cenário epidêmico.

Nos copos contendo apenas água, a solução de fenolftaleína reagiu com o NaOH, causando uma mudança de cor para rosa, que indicou a "contaminação" da população não vacinada (Fotografia 4.E). Nos copos com vinagre, o pH ácido neutralizou a solução de NaOH, impedindo a mudança de cor e representando a proteção conferida pela vacinação, mantendo a solução incolor (Fotografia 4.G). A turma discutiu coletivamente o que causou essas diferenças, explorando o conceito de imunidade e o papel da vacinação na proteção da população contra epidemias.

Os dois resultados distintos verificados foram: (i) dois terços dos copos, indivíduos haviam sido "contaminados" pelo agente infeccioso (Fotografia 4.E); (ii) No restante dos copos, os indivíduos vacinados adquiriram a imunidade contra a epidemia hipotética (Fotografia 4.G). À medida que cada aluno ia sendo testado, alguns se expressavam: "será que estou vacinado(a)?", outros tentavam cheirar os copos para ver se sentiam o cheiro do vinagre. E quando um indivíduo ficava cor-de-rosa, a turma como um todo dizia: "peguei a doença, não fui vacinado(a)". E quando um não foi contaminado dizia todo orgulhoso: "eu estou vacinado, não fui contaminado(a)".

Os estudantes demonstraram curiosidade ao questionar o que aconteceria se mais pessoas fossem vacinadas, inclusive as que já haviam sido contaminadas. Para explorar esse questionamento, eles procederam com o experimento, adicionando um pouco de vinagre aos não vacinados. O resultado dessa adição pode ser observado na Fotografia 5.A, onde as soluções retornaram ao estado incolor gradativamente 5.B e 5.C, simulando que toda a população adquiriu imunidade.

Após essa etapa prática, foi discutido com a turma as observações feitas, enfatizando a importância da imunização coletiva por meio da vacinação.

Fotografia 5 - Simulação do aumento da cobertura vacinal: adição de vinagre nos indivíduos não vacinados (A) e a imunização sendo adquirida aos poucos (B) e (C).



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

4.4 Quinto Momento

A próxima aula incluiu um momento de leitura e discussão, centrado na reportagem “De Câncer a gripe, novas vacinas de RNA”, (ANEXO V). Durante a roda de conversa, foram debatidas as promissoras aplicações das vacinas de RNA, inicialmente direcionadas à COVID-19, e as novas possibilidades terapêuticas dessa biotecnologia ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento. Ressaltou-se a importância de compreender o funcionamento dessas vacinas para identificar e questionar eventuais fake news propagandas nos meios de comunicação.

Durante esse momento, observou-se que os estudantes, ao discutirem sobre o conceito de RNAm e produções de vacinas, eles conseguiam entender o seu papel, nada obscuro, como recursos biotecnológicos. E as perguntas que surgiram anteriormente e as hipóteses investigadas, foram em sua maioria desconstruídas e novas concepções foram sendo sedimentadas.

Além disso, foi exibido o vídeo “Por que as vacinas contra o covid-19 não alteram o DNA. Esse vídeo didático de 5 minutos sintetizou as informações da reportagem, esclarecendo as diferenças entre DNA e RNA e explicando, de forma acessível, por que o RNAm não possui a capacidade de alterar o DNA humano.

Durante o vídeo, os alunos prestaram atenção às informações apresentadas e, ao final, comentaram que ele falava estava na mesma linha da reportagem já discutida. Logo, eles tiveram acesso a diferentes fontes confiáveis que seguiam com a mesma maneira de pensar e argumentar que os direcionou a uma desconstrução de ideias prévias.

4.5 Sexto Momento

Na última aula, os estudantes foram incentivados a desenvolver um texto argumentativo abordando o uso da biotecnologia na produção de vacinas de RNA, discutindo tanto as perspectivas promissoras quanto as inseguranças associadas a essa tecnologia.

Alguns trechos de seus textos foram transcritos abaixo:

Aluno 1: “No âmbito da vacinação a biotecnologia atua bastante na criação de vacinas de RNAm. Em 2019 esse método de criação de vacina foi frequentemente acionado para produzir um medicamento que poderia amenizar os sintomas e gerar uma imunidade contra a doença do COVID-19, pandemia global que matou muita gente. Os resultados alcançados superaram as expectativas sendo um sucesso e um grande passo na medicina.

Com esse uso da biotecnologia, vários mitos são criados onde *fake news* são divulgadas dizendo que, através da imunização com vacinas de RNAm é possível causar modificações no DNA das pessoas, o que resultaria num controle do crescimento populacional. Essa ideia é

impossível, pois o RNA é sintetizado a partir de uma parte do DNA, o gene, sendo impossível o mesmo, RNAm, alterar o seu “molde”.

Toda a tecnologia pode ser usada a favor da civilização sendo utilizada para a criação de novos medicamentos agindo na evolução da medicina e para evitar falsas informações é necessário que seja divulgado pesquisa selecionadas a esse campo.”

Aluno 2: “O ser humano desde o início das civilizações teme o novo, pois por não poder controlar o futuro é melhor temer e abominá-lo. Muitos sem ver o que as novidades podem trazer retardam a evolução, inibindo-nos assim de tais tecnologias.

[...] A biotecnologia pode nos proporcionar cura de doenças como a própria COVID-19, alguns diziam que a vacina era feita com RNAm, e como muitos temiam dizendo que tal ‘vacina que transformava você em um jacaré’. Mas elas não entendiam realmente o que era a vacina e a temiam hoje sabemos que elas são basicamente um incentivador da produção de anticorpos contra o vírus

[...] Uma forma de acabar com o medo das pessoas é com informações verdadeiras. Outra é a mídia junto do governo incentivar o estudo da biotecnologia. Finalizando deixando a frase do filósofo Jean-Paul ‘o medo do desconhecido o principal fator do medo da mudança’.”

Aluno 3: “Segundo o pensador Carlos Nepomuceno, ‘as pessoas tendem a ter medo do novo pois temem o descontrole’, isso quer dizer que é da natureza do ser humano sentir temor de mudanças, pois não se pode prever o que ocorrerá. Ademais, com uma chuva de fake News nas redes sociais é mais difícil normalização da biotecnologia no dia a dia.

Como dito anteriormente, a biotecnologia pode trazer diversas vantagens e benefícios atualmente, como fabricação de vacina de RNA que auxilia muito na imunização e no combate de doenças, além disso, o uso dessa ferramenta pode levar ao desenvolvimento de variedade de plantas mais resistentes a doenças e adaptadas a diversos climas, fazendo assim melhoramento genético, e o aumento da produção de alimentos.

Portanto, é essencial os governos investirem em campanhas contra desinformação e *fake news* sobre a utilização dessas novas tecnologias e é dever do cidadão se adaptar aos novos tempos, que está cada vez mais presente tecnologia inovadoras e essenciais.”

Essa atividade permitiu aos alunos expressarem suas reflexões e consolidarem seu entendimento sobre o tema, abordando os benefícios potenciais e os desafios éticos e científicos que acompanham o avanço da biotecnologia na área da saúde.

5. DISCUSSÃO

A metodologia investigativa utilizada seguiu as orientações de Carvalho *et al.* (2021), que enfatizam a importância de uma sequência estruturada de etapas no ensino por investigação. Essa abordagem envolve, primeiramente, a identificação de um problema a ser explorado; em seguida, procede-se à coleta e análise de dados e informações relevantes.

No entanto, ao serem encorajados a expressarem seus questionamentos com relação à reportagem, independentemente de parecer “simples” ou “óbvio”, os alunos sentiram-se à vontade para explorar suas dúvidas. Esse ambiente de acolhimento e incentivo ao questionamento espontâneo é fundamental no ensino investigativo, promovendo uma cultura de aprendizado ativo e reflexivo (Carvalho *et al.*, 2021).

O nível de participação durante essa fase foi bastante satisfatório, refletindo o interesse da turma pelo tema abordado. As perguntas formuladas pelos alunos, conforme ilustrado no Quadro 1 e no ANEXO III, revelaram um conjunto diversificado de dúvidas e curiosidades que se alinham com as questões científicas contemporâneas, especialmente em relação à biotecnologia e à confiabilidade de informações sobre vacinas de RNA (Brígida *et al.*, 2021). Essa capacidade de formular perguntas espontâneas e significativas é apontada na literatura como uma competência essencial no processo de construção do conhecimento científico e no desenvolvimento do pensamento crítico (Sardinha; Costa, 2021).

O engajamento durante a problematização mostrou-se bastante positivo, com todos os alunos participando de maneira ativa e colaborativa. A troca de ideias e a expressão de opiniões prévias sobre o tema contribuíram para a formulação de perguntas complexas e bem fundamentadas (Figura 2). A colaboração entre os estudantes, estimulada pela professora, desempenhou um papel fundamental, pois fortaleceu a compreensão coletiva dos tópicos abordados e criou uma experiência de aprendizado mais enriquecedora e dinâmica.

A qualidade das perguntas também refletiu uma conscientização dos estudantes sobre a necessidade de avaliar criticamente as informações recebidas. Uma das questões levantadas, por exemplo, focava na veracidade da notícia apresentada, demonstrando a capacidade dos alunos de questionar a precisão das informações, o que é essencial em um contexto permeado por desinformação (Silva *et al.*, 2022). Isso foi relevante, pois ajudou os alunos a desenvolverem habilidades de leitura crítica e interpretação de conteúdos midiáticos.

Como já mencionado, essa habilidade é destacada pela BNCC “interpretar diferentes fontes de informação, desenvolvendo uma leitura crítica das informações recebidas por meio de jornais, revistas, internet e redes sociais” (BNCC, 2018, p. 547).

As perguntas formuladas pelos estudantes, por outro lado, revelaram uma lacuna significativa no entendimento de conceitos científicos fundamentais e na habilidade de conectar esses conceitos a questões e problemáticas contemporâneas. Essa deficiência representa um desafio importante para o desenvolvimento de uma mentalidade crítica e reflexiva, baseada em conhecimento sólido, que permita aos estudantes atuarem como cidadãos informados e protagonistas na sociedade (Leite; Kondarzewski, 2023).

A ausência de entendimento sobre o que é RNA, como ele difere do DNA, o papel dos genes, o que caracteriza a manipulação genética e como esses elementos se relacionam com a biotecnologia demonstra a necessidade de um ensino mais estruturado e contextualizado nessas áreas (Oliveira; Araújo; Lacerda, 2023).

Por exemplo, ao formular perguntas como “Qual é o objetivo de modificar o DNA?”, os estudantes evidenciam uma compreensão superficial e confusa sobre o tema, frequentemente influenciada por informações sensacionalistas ou incorretas disseminadas na mídia e em redes sociais (Pacheco; Saavedra, 2024). Esse questionamento específico, levantado a partir de um texto motivador, indica que os alunos ainda não compreendem plenamente as aplicações e os objetivos da biotecnologia.

A partir das hipóteses que criaram, é possível observar que muitos replicam ideias populares, como a suposição de que a manipulação genética teria o propósito de “controlar a população e a reprodução” (Nascimento; Alencar, 2020). Essa hipótese reflete a influência de notícias falsas, que frequentemente apresentam esse tipo de manipulação como uma ameaça à sociedade. Estudos indicam que a desinformação nas áreas de ciência e saúde tende a reforçar preconceitos e medos infundados, o que impacta diretamente na percepção dos jovens sobre esses temas (Vieira *et al.*, 2019).

O Gráfico 1 mostra como as opiniões dos alunos se dividiram em relação à notícia discutida. A diferença entre os que acreditaram na veracidade da notícia e os que a identificaram como falsa evidencia o impacto das percepções e preconceitos iniciais de cada estudante. Como discutido por autores como Souza (2020); Vieira *et al.* (2019), essa disparidade reforça a importância de confrontar concepções prévias com evidências científicas, um processo essencial para promover um aprendizado mais crítico e embasado.

De maneira inconsciente, os estudantes acabaram demonstrando concordância com o conteúdo da notícia falsa apresentada, apesar de 80% da turma terem previamente considerado a notícia como falsa (Gráfico 1). Talvez motivados pela desinformação tão amplamente divulgada durante a pandemia sobre modificações no DNA e pelos relatos isolados, também explorados por parte da mídia, de pessoas que tiveram efeitos colaterais severos com a

vacinação, estes fatores podem ter exercido uma influência inconsciente nessa concordância (Marcelo et al., 2023). Outra possibilidade pode ser simplesmente a falta de conhecimento dos alunos sobre o tema. Mas essa discrepância entre o julgamento inicial e as hipóteses formuladas revela que a falta de conhecimento científico os torna suscetíveis a aceitar e internalizar informações sem base científica, evidenciando a influência persistente de uma compreensão limitada e, em muitos casos, equivocada sobre os avanços e aplicações da biotecnologia (Pacheco; Saavedra, 2024).

A literatura enfatiza que a construção de um entendimento científico robusto é fundamental para que os estudantes possam desenvolver habilidades de análise crítica e de questionamento fundamentado, características essenciais para a formação de uma cidadania ativa e informada (Sardinha; Costa, 2021; Pires; Maciel, 2024). Nesse sentido, a falta de compreensão dos conceitos básicos sobre RNA, DNA, e biotecnologia observada entre os estudantes aponta para a necessidade de abordagens educativas que facilitem a contextualização e a aplicação prática desses conhecimentos, permitindo que eles confrontem as informações recebidas com base em evidências científicas, e não apenas em informações infundadas.

A hipótese formulada pelos estudantes, de que seria possível "descobrir novas espécies, combinar DNA de seres vivos diferentes e criar uma espécie", evidencia uma compreensão distorcida sobre as funções e limitações da biotecnologia, bem como de suas reais aplicações. Esse equívoco revela uma falta de entendimento sobre o processo de manipulação genética, indicando que a concepção dos alunos sobre o tema é fortemente influenciada por uma visão fantasiosa e sensacionalista frequentemente propagada por mídias populares e redes sociais (Amêndola *et al.*, 2021). No entanto, mesmo equivocada, essa hipótese mostrou-se valiosa para direcionar futuras investigações durante as aulas, funcionando como um ponto de partida para corrigir e aprofundar o conhecimento dos alunos sobre biotecnologia, manipulação genética e bioética.

Investigações futuras poderiam ser centradas no papel da biotecnologia no melhoramento de alimentos, na clonagem terapêutica, na produção de outros medicamentos, nos embates éticos sobre os limites da ciência *versus* o avanço e progresso da sociedade na melhoria da qualidade de vida, entre outros. Fazendo uso de outras metodologias ativas como por exemplo, aprendizado por projetos, seminários e gamificação, esses assuntos poderiam ser abordados na tentativa de aumentar o letramento científico dos discentes sobre a biotecnologia e seus produtos (TOTVS, 2024).

Outra hipótese apresentada para responder à pergunta inicial (“Qual é o objetivo de modificar o DNA?”) sugeriu que a modificação teria como finalidade "criar imunidade contra

novas doenças e desenvolver curas para doenças sanguíneas." Essa ideia revela um entendimento ainda confuso e fragmentado. Durante a pandemia, houve uma grande exposição a temas como imunidade e vacinas, mas muitas vezes acompanhada de desinformação. Esse cenário levou os alunos a associarem incorretamente a biotecnologia e a manipulação genética a noções de "imunidade" e "cura de doenças sanguíneas", relacionando esses conceitos às *fake news* que circularam amplamente na época (Pedrosa; Costa, 2020).

A hipótese de que “o RNA de outros seres vivos é capaz de causar mutação e imunização,” formulada em resposta à questão sobre se o RNA poderia modificar o DNA, revela a complexidade dos conceitos de biologia molecular para os estudantes. A falta de familiaridade com as funções e limitações de RNA e DNA expõe uma lacuna significativa no entendimento dos fundamentos biológicos (Pelizzari; Silva; Felipe, 2022). Essa compreensão incompleta levou à formulação de uma hipótese incorreta, que mistura equivocadamente os conceitos de mutação, imunização e a suposta capacidade do RNA de modificar o DNA.

Essa confusão entre os conceitos reforça a importância de uma educação científica mais aprofundada e contextualizada. Sem uma base sólida, os alunos ficam mais suscetíveis a adotar explicações errôneas ou influenciadas por informações sensacionalistas. A literatura sobre o ensino de biologia ressalta que a compreensão de temas complexos, como genética e biotecnologia, é fundamental para que os estudantes desenvolvam uma visão crítica e bem fundamentada, capaz de diferenciar fatos científicos de mitos e desinformação (Correa; Galieta, 2020).

De modo geral, as hipóteses formuladas pelos alunos evidenciaram limitações significativas em seu conhecimento científico, especialmente em conceitos fundamentais como RNA, DNA, bem como em sua compreensão sobre as finalidades e os processos da biotecnologia e da produção de vacinas, incluindo as de RNAm. Além disso, as hipóteses revelaram certo receio em relação ao desenvolvimento tecnológico, um medo amplamente difundido por meio de *fake news* que emergiram durante e após a pandemia (Souza, 2020; Pedrosa; Costa, 2020).

Essa circunstância reflete a influência da desinformação sobre a percepção pública da biotecnologia e suas aplicações. No entanto, conforme mencionado anteriormente, essas hipóteses abriram uma importante oportunidade para o desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos, através do processo de investigação e validação científica. Esse exercício investigativo foi essencial para alcançar os objetivos pedagógicos do estudo, uma vez que proporcionou um ambiente satisfatório para a aprendizagem (Pires; Maciel, 2024).

A etapa de investigação apresentou um desafio significativo para os alunos, que ainda não estão habituados a explorar informações de forma autônoma e crítica, pois em sua grande maioria, estão moldados às aulas com transmissão passiva de conteúdos (Silva; Pimentel, 2024). Aprender a consultar fontes confiáveis e a aplicar um olhar mais criterioso sobre o conteúdo, relacionando-o com suas próprias hipóteses e o conhecimento prévio foram desafiantes. Mas com a orientação da professora, esses desafios foram sendo superados e eles começaram a desenvolver as habilidades de conexão entre os seus conhecimentos prévios, suas hipóteses e suas investigações.

O papel do professor nessa abordagem de ensino vai mais além do transmissor de conteúdos, pois ele participa ativamente na formação do sujeito na sociedade moderna, sujeito esse, crítico, ativo e consciente ao tomar decisões e posicionar-se mediante os problemas contemporâneos (Conceição; Silva, 2024).

Nesse contexto, ao avaliarem de forma crítica a veracidade de suas suposições iniciais, eles evidenciaram autonomia e cultivaram senso crítico e reflexivo, essencial para a sua formação como cidadãos conscientes (BNCC, 2018). As explicações encontradas durante o processo de pesquisa incentivaram uma reflexão aprofundada sobre os questionamentos levantados, ampliando tanto a compreensão dos temas abordados quanto a capacidade de análise crítica dos estudantes.

Durante essa etapa, a organização dos estudantes em grupos foi importante para um aprendizado compartilhado, para uma interação mais ativa com troca de ideias e para o desenvolvimento de competências sociais e cognitivas, processos fundamentais na construção da aprendizagem (Silva et al., 2021). E, com o auxílio da professora, começaram a entender conceitos básicos antes não compreendidos como DNA, RNA e genes, bem como as diferenças e as funções de cada um.

Com a introdução do termo biotecnologia durante essa aula, os alunos compreenderam que a manipulação genética já é feita há algumas décadas, com benefícios para a agricultura, saúde, economia e outros. Eles entenderam também que as modificações no DNA não têm a finalidade de controle e eliminação populacional, mas sim de auxiliar no desenvolvimento sustentável da sociedade moderna e na tentativa de curar doenças que hoje apresentam desafios para a sociedade (Lima; Santos, 2022).

Os estudantes foram capazes de rejeitar parte da hipótese inicial de que “o RNA é o material genético que manda uma mensagem ao nosso sistema imune para matar organismos invasores”. Eles compreenderam que o RNA é, na verdade, uma molécula sintetizada a partir de uma parte do DNA, ou seja, faz parte do material genético, mas não desempenha diretamente

essa função imunológica. Eles também entenderam que o RNAm contém informações para a síntese de proteínas, e que essa parte do DNA é conhecida como "gene", sendo possível manipulá-la para melhorar características, criar organismos mais resistentes, medicamentos e vacinas (Esquiavan; Silva, 2024). Com o auxílio da professora, os alunos viram a relação entre a biotecnologia e as vacinas de RNAm.

A hipótese inicial dos alunos, de que “o RNA de outros seres vivos é capaz de causar mutação e imunização”, foi questionada durante o processo. Ao elaborarem essa hipótese, os estudantes demonstraram uma compreensão equivocada, acreditando que o RNA viral poderia modificar o DNA humano (causando mutação) e, ao mesmo tempo, induzir a imunização. Esse raciocínio, embora mal direcionado, serviu como base para importantes correções e ajustes, esclarecidos principalmente durante a roda de conversa. Devido ao tempo limitado para a investigação e ao esforço intelectual envolvido, muitos alunos se mostraram mentalmente cansados, mas o diálogo coletivo ajudou a consolidar as novas compreensões.

Diante das dificuldades iniciais para saber investigar, organizar seus objetivos ao investigar e, posteriormente, interpretar seus dados pesquisados, o tempo dedicado na SDI para a investigação (50 minutos) foi curto. Soluções para esse problema, poderiam ser: acrescentar uma ou duas aulas voltadas para esse momento crucial ou pedir para que os alunos seguissem com as investigações em suas casas e as trouxessem na aula posterior.

Há de se levar em conta que aumentar o número de aulas dedicadas ao tema, poderia comprometer o cumprimento do Currículo Referência de Minas Gerais (2024), documento esse que abrange o plano de curso a ser trabalhado ao longo do ano, em poucas aulas anuais, 40h/a no total, divididas de quatro aulas/mês ou apenas uma aula semanal, estabelecidas pelas diretrizes da Resolução SEE n. 4.098 (2023). Com as mudanças no Novo Ensino Médio sancionadas em 2024, pelo Presidente da República, ganhou-se mais uma aula para o terceiro ano, isso poderá viabilizar um pouco mais de tempo para abranger atividades de investigação em sala de aula. Mudanças essas que só terão efeito no ano de 2025.

Ao avaliar as habilidades investigativas dos estudantes, percebe-se que ainda há muito espaço para aprimoramento. Eles demonstraram dificuldade em interpretar e conectar as informações obtidas com as hipóteses formuladas. No entanto, ao longo da atividade, houve uma melhora perceptível na habilidade de avaliar informações, um progresso que continuou a ser observado nas atividades subsequentes.

A simulação sobre os efeitos da vacinação evidenciou um alto nível de engajamento e colaboração, com os alunos observando atentamente, realizando cada etapa, e alcançando com clareza o objetivo proposto pela atividade. Sua realização ajudou a esclarecer a importância

desse processo na contenção de epidemias e a desmistificar as hipóteses equivocadas relacionadas à manipulação genética e ao suposto “extermínio” de indivíduos.

O fato de não informar aos alunos quem havia sido vacinado ou não, durante a simulação, criou um ambiente de incerteza, que levou a atitude dos estudantes de tentarem cheirar seus copos e adivinhar quem recebeu a vacina, como mencionado na seção anterior (RESULTADOS). Ao expor todos ao "agente infeccioso", simbolizado por gotas de solução de NaOH, os alunos ficaram ansiosos e curiosos para ver o que aconteceria a seguir, isso gerou um engajamento muito satisfatório.

Esse método de ensino lúdico demonstrou ser eficaz ao despertar o interesse e a participação ativa dos estudantes, conduzindo-os a uma compreensão prática da importância da vacinação (Brazil, 2022). Além disso, essa metodologia ajuda no engajamento coletivo da turma, visto que eles ficam menos dispersos e mais concentrados para tentar entender as dinâmicas da aula e poder participar significativamente (Sarmiento, 2023).

O uso de simulações, jogos e outras ferramentas lúdicas também são importantes para simplificar ou associar conteúdo abstrato ou de difícil compreensão, tornando-os mais “palpáveis”, como é o caso da imunização pela vacinação e o funcionamento das vacinas. Essas ferramentas preenchem lacunas deixadas pela metodologia tradicional, que se mostra geralmente engessada. Também cumpre com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento de funções cognitivas, como atenção, socialização, motivação e criatividade, essenciais na construção do conhecimento (Rocha; Rodrigues, 2018).

Cabe ressaltar, no entanto, que a simulação tem suas limitações na analogia quanto ao entendimento mais detalhado de conceitos, e é importante que durante a execução, o(a) professor(a) contextualize sobre a produção de anticorpos, sobre vacinação em pessoas já infectadas, de que estar vacinado não quer dizer que um indivíduo não se contaminará novamente, entre outros possíveis pontos que surjam.

Ao refletirem sobre a atividade, ao se questionarem se estavam contaminados e quando cheiraram os copos, eles demonstraram que estavam totalmente engajados, concentrados e que começaram a usar suas funções cognitivas para entender os mecanismos de transmissão e valorizar a importância da vacinação. A empolgação foi evidente em toda a turma, que participou ativamente da atividade. A qualidade da participação foi muito satisfatória.

Quando a solução de fenolftaleína foi adicionada aos copos (simulando a "testagem" da população), os alunos reagiram entusiasmados. O aluno 1 declarou “Eu estou

contaminado!”. Logo em seguida, o aluno 2 também afirmou “Eu também!”. A aluna 3, por sua vez, exclamou “Eu não, eu estou vacinada!”

Essas reações demonstraram que os estudantes entenderam a importância da vacinação para prevenir a transmissão de doenças infecciosas. Além disso, a simulação contribuiu para desmistificar temores infundados relacionados à vacinação, como o receio de adquirir doenças ou "perder a humanidade" ao serem vacinados. Nenhum dos alunos questionou ao verificar que estavam vacinados, se eles haviam sofrido algum tipo de alteração em seu DNA, seu interesse maior era em estar vacinado(a) e, conseqüentemente, não ser “infectado(a)”.

Quando a aluna 4 levantou a questão do que aconteceria se os “infectados” fossem vacinados, mesmo depois de já manifestarem a doença, a turma fez rapidamente o experimento. O resultado deixou a aluna 4 surpresa, levando-a a expressar “Mas como isso é possível?”. Após refletir por um momento, ela continuou: “Entendi, ele também ficou imunizado, todos ficaram imunizados”.

A atividade possibilitou uma análise aprofundada sobre os benefícios de se aumentar a cobertura vacinal e as implicações de uma cobertura insuficiente no controle de epidemias. Essa reflexão foi fundamental para reforçar o entendimento dos alunos sobre os impactos da vacinação na prevenção, de campanhas nacionais de vacinação para a contenção de doenças infecciosas (Pedrosa; Costa, 2020). Com base na experiência prática, os estudantes concluíram que, quanto mais pessoas forem vacinadas, menor será o número de infectados, e a infecção será mais eficazmente controlada.

Durante a sequência de aulas, os estudantes analisaram a reportagem “Câncer a gripe, as doenças na mira de novas vacinas de mRNA após Covid”. Na roda de conversa subsequente, discutiu-se a hipótese levantada anteriormente sobre o RNA viral e sua suposta capacidade de transformar o DNA humano. A leitura da reportagem revelou que o RNA é uma molécula moldada a partir do DNA, ou seja, uma cópia parcial de um gene, sintetizada para produzir proteínas específicas. Com base nisso, a professora questionou se uma cópia de RNA poderia, de fato, modificar o molde original de DNA. Os alunos, ao refletirem sobre essa relação, concluíram que tal modificação não era possível, esclarecendo um dos principais mal-entendidos sobre a tecnologia de vacinas de RNA.

Esse momento de reflexão foi essencial para que os estudantes compreendessem as limitações e o funcionamento do RNA, especialmente em contextos biotecnológicos como a produção de vacinas. A professora destacou que a tecnologia de vacinas de RNAm, como a utilizada para combater a COVID-19, não expõe o organismo ao vírus completo, mas apenas a

fragmentos de seu material genético, responsáveis por desencadear uma resposta imunológica sem risco de infecção (Silva; Cavalcante, 2021; Barbier *et al.*, 2022).

Além disso, quando discutido sobre algumas vantagens dessa tecnologia: abordagem mais rápida, econômica, que permite a produção em larga escala e em menor tempo, pode-se entender por que elas foram rapidamente produzidas e sua importância para enfrentar a pandemia com eficiência (ANVISA, 2021). Isso foi essencial para que os estudantes percebessem que eram infundados os argumentos negativos, difundidos na mídia, redes sociais e apoiados por pessoas influentes, sobre a rapidez em que se produziu a vacina do COVID-19 e a sua real eficácia, durante a pandemia (Souza, 2020).

Durante a discussão, os alunos também refletiram sobre as novas possibilidades que essa tecnologia oferece para o tratamento de doenças como câncer e gripe, áreas em que as terapias convencionais costumam ser invasivas e nem sempre apresentam resultados garantidos (Vishweshwariah; Dokholyan, 2022). A assimilação dos conceitos biológicos e a compreensão do papel da biotecnologia na produção de vacinas representaram uma mudança significativa no modo de pensar dos estudantes. Eles deixaram de lado o medo infundado de que o RNA pudesse alterar o DNA e reconheceram que as vacinas de RNAm são seguras e têm grande potencial para a saúde pública.

Esse medo infundado, que segundo argumentou um aluno, ‘limita a busca de novas tecnologias que podem ser o que a humanidade precisa para resolver certos problemas que afetam países e povos’, deixou de ter sentido, pois ele viu que é limitado e muito específico o que uma vacina de RNAm pode fazer e que com certeza, não está entre elas a capacidade de eliminar os humanos. O mesmo aluno ainda questionou que esse medo é difundido por *fake news* que devem ser combatidas.

Ao reconhecerem que as vacinas de RNAm são seguras e eficazes, eles ficaram ansiosos pelas expectativas futuras de desenvolvimento de novas vacinas curarem outras doenças não-infecciosas e até mesmo cânceres. Por esta razão, eles questionaram mais uma vez que as *fakes news* atrasariam esses desenvolvimentos por espalharem um medo e uma certa rejeição a algo que seria um progresso para a sociedade. E mais uma vez, não se notou mais as ideias errôneas mencionadas nas perguntas e hipóteses levantadas no primeiro momento.

A roda de conversa foi um momento de compartilhar opiniões, pensamentos, anseios e de fechamento de ideias. O engajamento e a participação foram satisfatórios. Ao longo da atividade, os alunos puderam argumentar sobre seus preconceitos e receios anteriores em relação às vacinas de RNAm. Argumentos como ‘não entendia o que a vacina de RNAm fazia’, ‘há pessoas que tomaram a vacina e não foram as mesmas’ entre outros, foram dissipados e eles

começaram a considerar especialmente os avanços e potenciais benefícios que essa tecnologia oferece.

De um modo geral, esse raciocínio forneceu argumentos para refutar hipóteses baseadas em medo e desinformação, como as que sugeriam “controle populacional” ou mutações indesejadas causadas por vacinas, e direcionou os estudantes para um futuro mais confiante e aberto às inovações tecnológicas (Correa; Galieta, 2020).

A exibição do vídeo “Por que as vacinas contra o covid-19 não alteram o DNA” consolidou as discussões, reforçando a ideia de que o RNA das vacinas não altera o DNA humano. A clareza com que o vídeo abordou o tema ajudou os alunos a compreenderem a importância das vacinas e a necessidade de discernimento em relação às informações que circulam na internet. Esse tipo de recurso midiático, aliado à discussão guiada, é eficaz para desenvolver a alfabetização científica e fortalecer a confiança dos alunos em fontes científicas confiáveis (Yamaguchi, 2021).

A etapa final da atividade foi marcada pela produção textual dos alunos, na qual expressaram opiniões bem fundamentadas sobre o uso de vacinas de RNA e outras aplicações biotecnológicas. Nenhuma das redações evidenciou preconceitos em relação à biotecnologia, o que sugere que as dúvidas e equívocos iniciais foram superados. Isso demonstra o sucesso da atividade em desenvolver a criticidade dos alunos e capacitá-los a analisar informações de forma consciente e científica, promovendo um aprendizado profundo e satisfatório.

Os textos produzidos pelos alunos revelaram essa nova compreensão de maneira clara. Nas argumentações finais, ficou evidente uma mudança significativa em relação às opiniões iniciais, que anteriormente refletiam receios e falta de informação sobre o RNA e seu impacto no DNA. Suas ideias iniciais também mostravam que não tinham uma distinção clara entre as funções do RNA e do DNA, o que dificultava uma análise crítica e reflexiva das notícias e informações que consumiam.

Este exercício permitiu observar a interpretação de cada aluno em relação ao conteúdo e quais perspectivas foram construídas ao longo das aulas, considerando, como apontado por Santos e Auler (2019), que produtos tecnológicos, como vacinas, carregam valores e contextos específicos que requerem um olhar crítico.

No final das atividades, os alunos conseguiram demonstrar, por meio de textos, uma argumentação embasada e bem fundamentada sobre a biotecnologia e o uso de vacinas de RNA. Um estudante destacou em seu texto: “não era possível mudar o DNA, molde, a partir do RNA

(coisa moldada)”, demonstrando uma compreensão clara dos conceitos abordados e refutando os equívocos iniciais.

Em um dos textos um estudante o desenvolvimento dessas tecnologias e a difusão de *fake news* com o "medo ao novo" e ele mencionou que esta atitude deve ser combatida com o suporte do conhecimento científico e com a disseminação de informações corretas pelo governo. Com esse texto ficou evidente que o aluno entendeu que a falta de entendimento e conhecimento é o que alimenta as notícias falsas e gera o medo na população. E este, por sua vez, freia o progresso da sociedade (Marcelo et al., 2023).

Em outro texto, a argumentação de aluno sobre a necessidade de políticas públicas para combater as notícias falsas, com apoio governamental e uma base científica sólida, demonstrou que eles desenvolveram a habilidade crítica de analisar informações quanto à sua confiabilidade, de entender a importância do letramento científico no combate a desinformação e na criação de uma consciência crítica (Nascimento; Alencar, 2020).

Ainda outro docente reforçou essa visão, apontando o combate às fake news como essencial para que a sociedade possa superar preconceitos e temores, potencializando os benefícios dos avanços científicos para toda a humanidade. Essas reflexões mostraram que os estudantes foram capazes de consolidar os conhecimentos adquiridos de forma crítica e bem fundamentada, reconhecendo o impacto do conhecimento científico e da responsabilidade social no progresso coletivo (Lima; Santos, 2022).

Inicialmente em seus questionamentos, notava-se o que Pelizzari; Silva; Felipe (2022) já mencionaram que é comum nos estudantes em geral, a base científica limitada com relação a conceitos em genética e biotecnologia. Essa limitação acarreta outros problemas na má formação de cidadãos conscientes, críticos, ativos e os deixa suscetíveis a acreditar em manipulações de conceitos científicos por crenças mal fundadas e amplamente difundidas (Vieira *et al.*, 2019), o que já foi discutido nesta dissertação.

A sua capacidade de sintetizar o conteúdo e aplicar criticamente o que aprenderam, revelou que conseguiram ter um domínio satisfatório do tema, pois conseguiram, mediante seus textos, posicionarem-se de maneira consciente e argumentativa sobre os benefícios para a sociedade da descoberta de novas tecnologias e suas aplicações, não deixando de questionar o papel dos governantes no incentivo a divulgação científica bem como no combate das *fake news*.

Poderia ainda ser incentivado por parte da professora a argumentarem mais sobre qual seria o papel deles nessa divulgação, mas o tempo limitou mais uma vez abordar esse outro lado. Para ampliar ainda mais, seria interessante que discussões futuras incluíssem temas de bioética e explorassem mais a fundo o papel de cada indivíduo e da sociedade no enfrentamento das *fake news*, incentivando uma consciência mais ativa sobre a responsabilidade social na comunicação científica (Caribe, 2017).

Levando em conta o tempo disponível nas aulas, poderiam ser propostas outras atividades usando diferentes metodologias ativas, como sala de aula invertida, gamificação entre outros para trabalhar esse papel dos alunos enquanto indivíduos na sociedade contemporânea, suas escolhas, seus pensamentos e influências.

Ao observar a construção do letramento científico dos estudantes gradualmente e culminando na consolidação apresentada em seus textos, relacionado ao tema da pesquisa, notou-se que eles claramente conseguiram argumentar seus novos pontos de vistas, expuseram falhas em seus pensamentos anteriores, que refletia um pensamento prévio impregnado de ideias errôneas e conceitos distorcidos. Ficou evidente que o conhecimento científico é de suma importância para confrontar ideias equivocadas, que ele deve ser divulgado e incentivado (Sardinha; Costa, 2021), principalmente pelos governantes em suas políticas públicas.

Apesar das limitações de tempo, a SDI instigou o pensamento conscientes e isso ajudou na formação de cidadãos autônomos, críticos quanto aos conhecimentos expostos no seu cotidiano e engajados para aprender novos conhecimentos.

6. CONCLUSÃO

A SDI cumpriu seu papel ao incentivar um processo investigativo que colocou os alunos como protagonistas na construção de um entendimento crítico sobre a biotecnologia aplicada às vacinas de RNA. A análise de temas amplamente discutidos na mídia proporcionou um ambiente favorável à problematização e à desconstrução de desinformações, abordando conceitos fundamentais em biologia e desfazendo equívocos, como a ideia de que vacinas de RNA poderiam modificar o DNA.

A atividade prática de simulação reforçou a compreensão sobre a importância das campanhas de vacinação para a saúde coletiva e o papel do RNA no funcionamento das vacinas, corrigindo ideias equivocadas e promovendo uma visão mais fundamentada. Além disso, a sequência incentivou o diálogo e a reflexão crítica, oferecendo um espaço seguro para os alunos expressarem suas dúvidas, questionarem desinformações e desenvolverem autonomia no pensamento crítico.

Para ampliar essa abordagem, a SDI poderia ser aplicada a outros temas dentro da biotecnologia, como transgênicos, clonagem terapêutica, suas aplicações e questões bioéticas. No entanto, o estudo das vacinas de RNA e da biotecnologia permitiu consolidar conceitos fundamentais em genética, além de contribuir para a formação de cidadãos mais críticos e preparados para enfrentar a desinformação.

REFERÊNCIAS

ALIAGA, L. I.; SOUZA, P. R. **Vacina e suas tecnologias**. ANALECTA - Centro Universitário Academia, v. 7, n. 2, 2021. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/ANL/article/view/3097>. Acesso em: 21 out. 2024.

AMÊNDOLA, I. L.; VIANA, L. R.; JESUS, M. B.; CALEMAN, G.; VERNASQUE, J. R.. Os impactos das fake news na prevenção e controle da COVID-19: uma revisão integrativa de literatura. **Revista Saúde em Redes**, v. 7, n. 1 Sup, Suplemento - O território COVID a reexistir: ensaios e narrativas sobre respostas à pandemia nos pontos de atenção nos territórios onde a vida acontece, 2021. Disponível em: https://www.academia.edu/90190381/Os_impactos_das_fake_news_na_preven%C3%A7%C3%A3o_e_controle_da_COVID_19_uma_Revis%C3%A3o_Integrativa_de_Literatura. Acesso em: 21 out. 2024.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Anvisa aprova vacina da Pfizer contra a covid-19. 2021**. Brasília, DF, 23 jan. 2021, atualizado 01 nov. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2021/informe-a-populacao-brasileira>. Acesso em: 12 jun. 2024.

BARBIER, A. J; JIANG, A. Y. ; ZHANG, P.; WOOSTER, R.; ANDERSON, D. G. The clinical progress of mRNA vaccines and immunotherapies. **Nature biotechnology**. v. 40, June 2022, p. 840 – 854. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35534554/>. Acesso em: 16 jul. 2023.

BARDIN, L.. **Análise de conteúdo**. São Paulo: edições 70, 2016.

BIERNATH, A. Câncer a gripe, as doenças na mira de novas vacinas de mRNA após Covid. **BBC News Brasil**, Londres, 09 de maio de 2023. Disponível em: [Câncer a gripe: as doenças na mira de vacinas de mRNA - BBC News Brasil](#). Acesso em: 10 de jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

BRAZIL, A. G. **Introduzindo conceitos do processo de expressão gênica utilizando um simulador virtual para análise em laboratório biotecnológico**. Faculdade Anhanguera,

2022. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/53891/1/DissertacaoFINALAnaPa ulaBrazil%20Biotec%202022%20finalizado.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BRÍGIDA, M. M.; ASSUMPÇÃO, R.; BARROS, Y. M.; SILVA, J. C.; NUNES, R. S. **Perspectivas da população brasileira sobre as vacinas COVID-19 como método de prevenção.** Conjecturas, ISSN: 1657-5830, vol. 21, n. 4, 2021. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/xzbokjllg5gebauyh2een42hxa/access/wayback/https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/download/180/144>. Acesso em 19 dez. 2024.

CARIBE, R. C. A biblioteca especializada e o seu papel na comunicação científica para o público leigo. **Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 185-203, 2017. Disponível em: http://www.rlbea.unb.br/jspui/bitstream/10482/43921/3/ARTIGO_BibliotecaEspecializadaPa pel.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

CARVALHO, A. *et al* (org.). **Ensino de Ciências por investigação: condições de implementação em sala de aula.** 1. Ed. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2021.

CONCEIÇÃO, G. M.; SILVA, G. M. Ensino por investigação e o papel do professor na formação de sujeitos para atuarem na sociedade contemporânea. **Revista Foco**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 01 - 12. 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/4062/2861>. Acesso em: 15 jan. 2025.

CORRÊA, R. S.; GALIETA, T. Biotecnologia sob o enfoque CTS: Concepções de licenciandos em ciências biológicas. **Conexão Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 14, n.2, p. 118-126, abr. 2020. Disponível em: <https://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1470>. Acesso em: 16 jul. 2023.

COSTA, C.; TOMBESI, C. Covid-19: os três passos do método revolucionário para criar vacinas de RNA. **BBC News Brasil**, 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-55091872>. Acesso em: 27 out. 2024.

COSTA, I. V. **Desenvolvimento de uma vacina de RNA para leishmaniose e comparação com uma vacina baseada em antígeno recombinante.** Instituto de Ciências Biológicas, Pós-graduação em Bioquímica e Imunologia, UFMG, **Dissertação**, p. 1-77, Belo Horizonte, 2023.

Disponível em:
[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/64700/1/Disserta%
c3%a7%c3%a3o_Isabela%20Vi
eira.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/64700/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o_Isabela%20Vi
eira.pdf). Acesso em: 03 jan. 2025.

COSTA, T. I. *et al.* **Uma revisão de literatura sobre a erradicação da varíola.** Científica - Multidisciplinary Journal, v. 9, n. 2, 2022. Disponível em:
<https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/cientifica/article/view/5917>. Acesso em: 21 out. 2024.

DW BRASIL. **Por que as vacinas contra o covid-19 não alteram o DNA.** Brasil, 2021. 1 vídeo (5 min). Disponível em: [\(50\) Por que as vacinas contra covid-19 não alteram seu DNA - YouTube](#). Acesso em: 14 mai. 2023.

ESQUIAVAN, A. S.; SILVA, M. M. Biotecnologia, transgênicos e a sua aplicação nos alimentos e fármacos. **Gestão, Inovação e Empreendedorismo**, v. 7, n. 1, 2024. Disponível em: <http://15.228.50.185/index.php/revista-gestao-inovacao/article/view/114>. Acesso em: 21 out. 2024.

FERREIRA, F. R.; QUEIROZ, F. A.; CARVALHO, L. F. A revolução biotecnológica: história e indústria no Brasil. **Khronos, Revista de História da Ciência**, n. 16, 2024. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/khronos/article/view/220609/203492>. Acesso em: 03 jan. 2025.

GONÇALVES, R. P; FIORI, R.; ALVES, L. C.; SOUZA, R. C.; GOI, M. E. **A biotecnologia fundamentada na metodologia de resolução de problemas com o uso da inteligência artificial: uma proposta pedagógica.** UFRGS, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://edeq.com.br/submissao2/index.php/edeq/article/view/476/490>. Acesso em: 02 jan. 2025.

JAHANAFROOZ, Z. *et al.* **Comparison of DNA and mRNA vaccines against câncer.** Department of Health & Human Services USA, 2020, mar.; 25(3): 552 – 560. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31843577/>. Acesso em: 16 jul. 2023.

LEITE, C. A.; KONDARZEWSKI, I. C. Letramento científico na formação da consciência socioambiental nos anos iniciais do ensino fundamental. Congresso Internacional sobre formación de Profesores de Ciencias. Disponível em:

<https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/20952/13448>. Acesso em: 19 dez. 2024.

LIMA, J., R; SANTOS, L. F. A biotecnologia no cotidiano escolar do ensino médio: análise da percepção dos estudantes. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**. v. 15, n. 1, p. 260-276, 2022. Disponível em: <https://renbio.org.br/index.php/sbenbio/article/view/599>. Acesso em: 16 jul. 2023.

LIMA YAMAGUCHI, K. K. Ensino de química inorgânica mediada pelo uso das tecnologias digitais no período remoto. **Revista Prática Docente**, v. 6, n. 2, p. e041, 2021. DOI: 10.23926/RPD. 2021.v6. n2. e041.id998. Disponível em: <https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/327>. Acesso em: 12 nov. 2024.

MARCELO, G.; PEREIRA, P. M.; SANCHEZ, A.; FREITAS, M. de S. **Como dialogar com quem não quer ouvir: para lá da polarização e da desinformação**. Academia das Ciências de Lisboa, Lisboa, 2023. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/45849/1/SJC_Como_Dialogar_Com_Quem_Nao_Quer_Ouvir.pdf. Acesso em: 02 jan. 2025.

MATSUKI, Edgard. Bill Gates vai inserir RNA mensageiro na fórmula da Coca-Cola para modificar DNA das pessoas. **boatos.org**, 2023. Disponível em: <https://www.boatos.org/mundo/bill-gates-vai-inserir-rna-mensageiro-coca-cola-para-modificar-dna-pessoas.html>. Acesso em 11 jun. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria Estadual de Educação. **Currículo referência: 3º ano - Ensino Médio - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. 2024. Disponível em: <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/index.php/plano-de-cursos-crmg>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MINAS GERAIS. Secretaria Estadual de Educação. **Resolução SEE n. 4.098**, de 16 de novembro de 2023. Dispõe sobre as matrizes curriculares do Ensino Médio e das Modalidades de ensino, na Rede Estadual de Ensino de Minas Gerais, com início em 2024 e dá orientações correlatas. Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://www.educacao.mg.gov.br/wp-content/uploads/2023/09/RESOLUCAO-SEE-No-4-.908-DE-11-DE-SETEMBRO-DE-2023.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MINAS GERAIS. Secretaria Estadual de Educação. **Resolução SEE n. 5.084**. Dispõe sobre as matrizes curriculares do Ensino Médio e das Modalidades de ensino, na Rede Estadual de Ensino de Minas Gerais, com início em 2024 e dá orientações correlatas. Belo Horizonte, 2024. Disponível em: <https://www.educacao.mg.gov.br/wp-content/uploads/2024/11/5084-24-r-Republicacao.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MOURA, Ingrid Andrêssa de. **Sistemas de entrega e sua influência na resposta imunológica de vacinas de ácidos nucleicos**. 2022. TCC (Ciências Biológicas) Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46228>. Acesso em: 21 out. 2024.

NASCIMENTO, E. O.; ALENCAR, N. L. Projetos de aprendizagem como metodologia ativa no ensino de biologia. VI Congresso Nacional de Educação. 2020. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/ebooks/conedu/2019/ebook3/PROPOSTA_EV127_MD4_ID7917_01102019142147.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

NEUFELD, P. M. Personagem da História da Saúde XII: Edward Jenner e a origem das vacinas / Personalities of Health History XII: Edward Jenner and the origin of the vaccines. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, v. 53, n. 3, p. 201-210, 30 set. 2021. Disponível em: <https://www.rbac.org.br/artigos/volume-53-no-3-editorial/>. Acesso em: 21 out. 2024.

OLIVEIRA, A.S.; ANDOLFATTO, D.; FERRAZ, L. O desenvolvimento de vacinas contra COVID-19 no primeiro ano de pandemia: um estudo narrativo. **Revista de Atenção à Saúde - RAS**, v. 20, n. 71, 2022. Disponível em: https://seer.uscs.edu.br/index.php/revista_ciencias_saude/article/view/8286. Acesso em: 03 jan. 2025.

OLIVEIRA, S. B.; ARAÚJO, C. S.; LACERDA, N. O. O ensino de ciências e o uso de questões sociocientíficas (QSC) como estratégia de aprendizagem. **Revista Observatório de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 21, n. 8, p. 10321-10339, 2023. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1098/1074>. Acesso em: 19 dez. 2024.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **A brief History of vaccines**. 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/spotlight/history-of-vaccination/a-brief-history-of-vaccination>. Acesso em: 30 abr. 2024.

PACHECO, C.; SAAVEDRA FILHO, N. C. Vacinas e o Ensino de Ciências: uma revisão de literatura como antídoto para as Fake News. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia**. Ponta Grossa, v. 17, edição especial, p. 1-20, 2024. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/17014/pdf>. Acesso em: 27 out. 2024.

PARDI, N.; HOGAN, M. J; PORTER, F. W.; WEISSMAN, D. mRNA vaccines – a new era in vaccinology. **Nat Rev Drug Discov**, 2018 apr.; 17(4): 264-279. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29326426/> Acesso em: 16 jul. 2023.

PATTO, C. *et al.* **Biologia Ensino Médio**. Curitiba: Associação Worldfund Brasil, 2019. Coleção STEM Brasil para ensino médio; v.4.

PEDROSA, S. M.; COSTA, L. F. Biotecnologia, alfabetização científica e formação de professores face às urgências da educação contemporânea. **Revista de Educação, Ciência e Matemática**. v. 10, n. 3, 2020. Disponível em: <http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/recm/article/view/6563/3316> Acesso em: 16 jul. 2023.

PELIZZARI, A.; SILVA, I, S.; FELIPE, M. S. Ensino da biotecnologia no Itinerário Formativo de Ciências da Natureza e suas tecnologias no Novo Ensino Médio. **Revista Concilium**, v. 22, n. 4, DOI: 10.53660/CLM-335-341, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Maria-Sueli-Felipe/publication/361539082_Ensino_da_Biotecnologia_no_Itinerario_Formativo_de_Ciencias_da_Natureza_e_suas_Tecnologias_no_Novo_Ensino_Medio/links/63f5ff180d98a97717ad3d59/Ensino-da-Biotecnologia-no-Itinerario-Formativo-de-Ciencias-da-Natureza-e-suas-Tecnologias-no-Novo-Ensino-Medio.pdf. Acesso em: 02 jan. 2025.

PIRES, M. P.; MACIEL, M. D. Desenvolvimento de competência científica: um estudo preliminar das ideias-chave para a formação de professores de ciências. **Revista Dynamis**, v. 30, publicação contínua, 2024. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/11787/6122>. Acesso em: 21 out. 2024.

ROCHA, D.F; RODRIGUES, M. S. Jogo didático como facilitador para o ensino de biologia no ensino médio. **Revista Cippus**, Canoas, v. 8, n. 2, 2018. Disponível em:

<https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Cippus/article/view/4742/pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SANTOS, R. A.; AULER, D. Práticas educativas CTS: busca de uma participação social para além da avaliação de impactos da ciência-tecnologia na sociedade. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 25, n. 2, p. 485-583, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/HnMjwkVyzZHyZ3jGLcr5HLz/>. Acesso em: 16 jul. 2023.

SANTOS, V. A.; ALMEIDA, M. E. **The history of the vaccine and its benefits**. Research, Society and Development, v. 13, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i1.44652>. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i1.44652>. Acesso em: 21 out. 2024.

SARDINHA, A.; COSTA, E. B. Importância da educação científica na formação docente e para o ensino de ciências: algumas reflexões pertinentes. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, v. 1, n. 20, mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/rbept.2021.10532>. Acesso em: 21 out. 2024.

SARMENTO, L. M. **Uso de jogo lúdico “no caminho dos genes” como ferramenta didática no ensino de genética para o ensino médio**. TCC, Licenciatura em Ciências Biológicas, IFPB, Campus Cabedelo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3426>. Acesso 21 out. 2024.

SILVA, E. C.; PONTES, D. S. Incidência de Doenças Sazonais em Vila Nova Dos Martírios, Maranhão, Brasil. In: SILVA, T. K. (Org.). **Abordagens integrativas em Ciências da Saúde e comportamento humano**. Campina Grande: Licuri, 2024, p. 1-13. ISBN: 978-65-85562-29-4. DOI:10.58203/Licuri.22941. Disponível em: <https://editorialicuri.com.br/index.php/ojs/article/view/496/420>. Acesso em: 03 jan. 2024.

SILVA, G. L.; PIMENTEL, E. T. Metodologias ativas de aprendizagem para o ensino de ciências: uma revisão sistemática. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v. 17, n. 4, p. 01-13, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/1773/4206>. Acesso em: 02 jan. 2024.

SILVA, J. F.; SANTOS, M. C.; SILVA, J. S.; SOUZA, C, C. Dialogando sobre biotecnologia em Timbiras (MA): relato de experiência extensionista. **Revista do Programa Nacional de**

Formação de Professores da Educação Básica, v. 10, n. 2, p. 23-31, 2022. Edição especial. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/parfor/article/view/13512/8337>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SILVA, R. Q.; CAVALCANTE, G. M. Potenciais alvos terapêuticos para Covid-19. **Jornal de Ciências da Saúde do Hospital Universitário da Universidade Federal do Piauí**, v. 4, n. 2, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpi.br/index.php/rehu/article/download/986/865/3794>. Acesso em: 21 out. 2024.

SILVA, R. A. et al. A aprendizagem cooperativa como metodologia ativa no Ensino Médio: percepção de alunos de uma escola pública da cidade de Milagres, Ceará. **Research, Society and Development**, v.10, n. 8, e17410817166, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17166/15366>. Acesso em: 17 jan. 2025.

SILVA, R. S.; MELO, S. F. **Dialogando sobre biotecnologia no ensino médio: relato de experiência extensionista**. 2023. TCC (Licenciatura interdisciplinar em Ciências Naturais/Biologia) Centro de Ciências, Universidade Federal do Maranhão, Codó, 2023. Biblioteca digital de monografias: Disponível em: https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/7054/3/Renilson_Santos_e_Sebastian_a_Melo.pdf. Acesso em: 23 out. 2024.

SOUZA, N. S. A disseminação de fake news no caso do coronavírus (COVID-19): uma análise discursiva. **Revista Memento**, v. 11, n. 1, 2020. Disponível em: http://periodicos.unincor.br/index.php/memento/article/view/6123/pdf_174. Acesso em: 21 out. 2024.

TOTVS. **Metodologias ativas de aprendizagem: o que são e 15 tipos**. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/instituicao-de-ensino/metodologias-ativas-de-aprendizagem/>. Acesso em: 02 jan. 2024.

VASCONCELOS, C. F. **A bioética aplicada à biotecnologia, repercussões e enfrentamento dentro da sociedade de risco**. Revista de Trabalhos Acadêmicos – Universo Belo Horizonte, v. 1, n. 5, 2021. Acesso em: 21 out. 2024.

VIEIRA, L. M.; SILVA, N. R.; CORDEIRO, D. F. **Análise descritiva das fake news da saúde através de mineração de textos no Portal da Saúde**. Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação, 2019. Disponível em: <https://portalintercom.org.br/anais/centrooeste2019/resumos/R66-0230-1.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2023. VISHWESHWARAIAH, Y. L; DOKHOLYAN, N. V. **mRNA vaccines for cancer immunotherapy**. *Frontiers in Immunology*, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/immunology/articles/10.3389/fimmu.2022.1029069/full>. Acesso em 03 jan. 2025.

APÊNDICES

ANEXO I - Produto

Sequência Didática Investigativa sobre o Ensino de Biotecnologia na Educação Básica:
Explorando o uso de vacinas de RNA detalhada nas seguintes páginas.



MAURA KETA FERNANDES

TEMA: A importância do Ensino de Biotecnologia na Educação Básica: Explorando as aplicações de vacinas de RNA em uma sequência didática Investigativa

JUIZ DE FORA

2024

1. INTRODUÇÃO

A biotecnologia, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de vacinas de RNA, apresenta desafios significativos no contexto educacional, devido à natureza abstrata de conceitos como DNA, RNA e manipulação genética. Além disso, o ambiente digital atual, marcado pela disseminação de notícias falsas, torna ainda mais urgente que os estudantes desenvolvam um entendimento sólido e crítico sobre esses temas (Nascimento; Alencar, 2020).

Diante desse cenário, torna-se essencial promover uma educação científica que não apenas forneça informações técnicas, mas que também capacite os alunos a identificarem e questionarem a desinformação, especialmente no que diz respeito à segurança e eficácia das vacinas (BNCC, 2018). Esta sequência didática investigativa (SDI) sobre biotecnologia tem como foco o desenvolvimento e na aplicação de vacinas de RNA para estimular o pensamento crítico e reflexivo dos estudantes.

2. OBJETIVO GERAL

Contextualizar o ensino de biotecnologia por meio do estudo do desenvolvimento de vacinas de RNA, abordando conceitos fundamentais, benefícios para a saúde pública e perspectivas futuras, a fim de tornar o conteúdo científico relevante e aplicável ao cotidiano dos alunos.

1.1 Objetivos específicos

- Desenvolver uma sequência didática investigativa sobre biotecnologia, com foco no desenvolvimento e na aplicação de vacinas de RNA, para estimular o pensamento crítico e reflexivo dos estudantes.
- Incentivar a reflexão crítica sobre o tema das vacinas de RNA e sua suposta capacidade de alterar o DNA, por meio da problematização de uma reportagem com uma notícia falsa, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico frente à desinformação;
- Realizar uma simulação, em ambiente escolar, dos impactos da vacinação em uma população hipotética durante uma epidemia infecciosa, permitindo aos alunos compreenderem, de forma prática e lúdica, os benefícios coletivos da imunização.;
- Promover o diálogo e o pensamento crítico entre os alunos por meio de rodas de conversa, debates e a elaboração de um texto reflexivo sobre a segurança das

vacinas, promovendo a autonomia na tomada de decisões baseadas em evidências científicas.

3. METODOLOGIA

Aplicar em 6 aulas de 50 minutos quando ministrar o conteúdo biotecnologia. Cada aula foi estruturada em diferentes etapas, somando um total de 6 momentos investigativos distintos.

2.1 Primeiro Momento

Na primeira aula, introduzir a problematização inicial com a distribuição de um trecho impresso dá uma reportagem intitulada “Bill Gates vai inserir RNA mensageiro na fórmula da Coca-Cola para modificar DNA das pessoas” (disponível em: <https://www.boatos.org/mundo/bill-gates-vai-inserir-rna-mensageiro-coca-cola-para-modificar-dna-pessoas.html>). Publicada em 29 de abril de 2023 e escrita por Edgard Matsuki, a notícia falsa afirmava que Bill Gates havia orquestrado a inserção de RNAm na Coca-Cola visando modificar o DNA das pessoas, reduzindo, assim, a população.

A partir da leitura da reportagem, estimular os alunos a refletirem e levantar questionamentos espontâneos sobre o conteúdo. Se nenhuma pergunta surgir, o professor poderá mediar por introduzir uma simples pergunta, como: “Vocês já ouviram alguma notícia similar?” Lembre-se se não formular perguntas que a resposta sejam apenas “sim” ou “não”, mas que exija uma argumentação.

O objetivo é incentivar a criatividade e a formulação de hipóteses iniciais, promovendo uma construção ativa do conhecimento. Enquanto isso, o professor anotará todas as perguntas e hipóteses no quadro.

3.2 Segundo Momento

Será o momento para, a partir das perguntas e hipóteses elaboradas pelos alunos, guiar a investigação em páginas confiáveis na internet, como portais oficiais de órgãos governamentais e de notícias com credibilidade, onde são especificados nomes de repórteres e critérios de verificação. Os alunos poderão ser divididos em pequenos grupos, dependendo do tamanho da turma. E cada grupo pode pesquisar uma das hipóteses para a discussão na aula seguinte.

3.3 Terceiro Momento

Divulgação dos resultados da investigação e confirmação das hipóteses quanto a sua veracidade ou se elas serão descartadas. O professor mediará a discussão e guiará o processo de assimilação dos conteúdos.

3.4 Quarto Momento

Os estudantes farão uma simulação prática adaptada de Patto *et al.*, (2019), para compreender melhor os conceitos de vacinação e a propagação de uma epidemia em uma população hipotética. Esta prática utiliza materiais de fácil acesso para proporcionar uma compreensão visual e concreta do impacto da vacinação na contenção de doenças infecciosas, descritos a seguir:

- 1 pacote de copo descartável de café;
- 500 ml de vinagre de álcool;
- 200 ml de solução de soda cáustica (NaOH), concentração a 1%;
- 1g de NaOH;
- 300 ml de água potável;
- 100 ml de solução de fenolftaleína, concentração a 10%;
- 10 g de fenolftaleína;
- 2 pipetas de plástico;
- 1 becker (para misturar a fenolftaleína).

Inicialmente, cada estudante receberá um copo descartável de café. Dois terços dos copos serão preenchidos com 10 ml de água potável, representando indivíduos não vacinados. O terço restante foi preenchido com 10 ml de vinagre de álcool, simulando os indivíduos vacinados.

Para simular a exposição ao agente infeccioso, uma solução de soda cáustica 1% (NaOH) será preparada - misturando 1g do composto em 200 ml de água - para representar o agente infeccioso. Usando pipetas plásticas, a solução de NaOH será adicionada, gota a gota, a todos os copos de forma uniforme, pingando-se 4 gotas em cada copo. Esse processo simboliza a exposição da população ao agente infeccioso.

Em seguida, a "testagem de contaminação" será realizada adicionando aproximadamente quatro gotas da solução de fenolftaleína 10% (misturando 10 g do composto em 100 ml de água) a cada copo. Observem e discutam os resultados.

Para ampliar a experiência, uma nova simulação poderá ser feita com a finalidade de explorar o impacto do aumento da cobertura vacinal. Aos indivíduos não vacinados, foram adicionados um pouco de vinagre, depois da exposição, e discutam os resultados.

3.5 Quinto Momento

Fazer uma roda de conversa para a leitura da reportagem “Câncer a gripe, as doenças na mira de novas vacinas de mRNA após Covid” (disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c21pnp05ddvo>), publicada pela BBC News Brasil em 9 de maio de 2023, de autoria de André Biernath. A reportagem aborda a função do RNA, trazia um breve histórico sobre a produção de vacinas de RNA e discutia sua importância durante a pandemia.

Também será passado o vídeo complementar intitulado “Por que as vacinas contra o covid-19 não alteram seu DNA” (disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Qb9k2U_1rNc), publicado pelo canal DW Brasil no YouTube em 28 de julho de 2021. Com duração de cinco minutos, o vídeo aborda de maneira didática como funcionam as vacinas de RNA e explica por que elas não interferem no DNA humano. Essa conversa final será importante para consolidar os aprendizados, reforçando a importância de uma compreensão fundamentada em evidências científicas.

3.6 Sexto Momento

Cada aluno será orientado a escrever um texto entre 15 e 30 linhas abordando a questão: “O que eu sei sobre vacinas de RNA? São seguras?”. Após a escrita, os textos serão compartilhados em sala, promovendo uma troca de ideias que possibilitará o professor(a) avaliar a compreensão individual e coletiva sobre o tema.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

NASCIMENTO, E. O.; ALENCAR, N. L. Projetos de aprendizagem como metodologia ativa no ensino de biologia. VI Congresso Nacional de Educação. 2020. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/ebooks/conedu/2019/ebook3/PROPOSTA_EV127_MD4_ID7917_01102019142147.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

PATTO, C. *et al.* **Biologia Ensino Médio**. Curitiba: Associação Worldfund Brasil, 2019. Coleção STEM Brasil para ensino médio; v.4.

ANEXO II - Diário de bordo

- Analisar se os alunos conseguiram a partir do trecho da reportagem mostrada criar perguntas sobre biotecnologia?
- Levantaram algum questionamento?
- Foi preciso que a professora fizesse perguntas? Algumas possíveis intervenções da professora: Vocês já ouviram alguma notícia similar? O que conhecem o RNA e o DNA? Pelo que conhecem da estrutura dessa molécula, RNA, é possível que possa modificar o DNA?
- Alguém questionou a exatidão da notícia? Quantos?
- Quais perguntas foram levantadas?
- Das perguntas criadas, surgiram hipóteses? Quais?
- Os alunos conseguiram confirmar suas hipóteses? Tiveram dificuldades?
- Participaram da roda de conversa e da simulação com interesse?
- Produziram o texto? Ele refletiu o que haviam aprendido?

ANEXO III – Problematização e criação de hipóteses

1. Qual é o objetivo de modificar o DNA?

Possíveis hipóteses:

- Para controlar a população e a reprodução.
- Para descobrir novas espécies. Poder juntar DNA de seres vivos diferentes e criar uma espécie.
- Para criar imunidade contra a novas doenças e trazer curas de doenças sanguíneas.

2. Como é possível o RNAm modificar o DNA?

Possíveis hipóteses:

- O RNA de outros seres vivos é capaz de causar mutação e imunização.

3. O que as vacinas de RNA fazem?

Possíveis hipóteses:

- O RNA de outros seres vivos é capaz de causar mutação e imunização.

4. O que é RNA?

Possíveis hipóteses:

- É o material genético que manda uma mensagem ao nosso Sistema imune para matar os organismos invasores.

5. Como saber se essa reportagem é verdadeira ou é fake?

Possíveis hipóteses:

- 80% acreditaram que a notícia era fake e 20% acreditaram que era verdadeira.

6. Por que seria perigoso a tentativa de modificar o DNA?

Possíveis hipóteses:

- Pode fugir do controle e gerar resultados inesperados.

- Pode mudar o Sistema imune.

7. Há diferenças entre o DNA de uma pessoa para a outra?

Possíveis hipóteses:

- Tem genes diferentes.

ANEXO IV – Trecho de reportagem (*fake news*)

Bill Gates vai inserir RNA mensageiro na fórmula da Coca-Cola para modificar DNA das pessoas

Depois das vacinas contra a Covid-19, o bilionário Bill Gates já tem o seu novo plano de redução populacional. Ele vai inserir o RNA mensageiro na fórmula da Coca-Cola para modificar o DNA das pessoas. [O fato de o bilionário ter comprado uma parte da Coca-Cola Femsa](#) (empresa responsável pelo engarrafamento da bebida) tem gerado um burburinho entre negacionistas.

Uma das publicações que vimos, de um perfil antivacinas responsável pela criação de diversos absurdos sobre imunizantes aponta que a intenção de Bill Gates é inserir o RNA mensageiro na Coca-Cola para fazer o DNA das pessoas serem modificados.

A informação foi endossada em um vídeo de uma mulher em que ela faz, inclusive, conexões sobre a compra e o plano. Ela cita, ainda, a participação da “Nova Ordem Mundial” nisso tudo.

“E eles não fazem questão nenhuma de esconder isso. Tanto que a propaganda da Coca-Cola FENSA é um só DNA o que que é a Coca-Cola Fenza? Eu também fiquei quando eu vi essa notícia eu não porque Fenza o que que é isso? Nunca tinha ouvido falar. Fui pesquisar. A FENSA gente é a maior engarrafadora de Coca-Cola no mundo. Engarrafadora, não é distribuidora, eles engarrafam, eles colocam o produto da garrafinha que nós bebemos. Para quem não sabe, Bill Gates é uma peça fundamental da Nova Ordem Mundial. Um dos financiadores da vacina de RNA. E nós sabemos que o objetivo da nova área mundial é a redução da população bom dessa notícia que sabidamente a Coca-Cola faz muito mal pra nossa saúde. Então está aí um belo motivo pra nós pararmos de ingerir esse produto”

“A obsessão de Bill Gates pelo controle do nosso DNA passou de todos os limites. Ele agora é “dono” de grande parte das ações da Coca e da Heineken. Alguns ex-cientistas que trabalhavam em seus laboratórios informaram a jornalistas do WP que a fórmula da Coca foi alterada. E eles nem escondem mais: A propaganda da FEMSA (empresa distribuidora) é justamente a seguinte: Um só DNA! A intenção é inserir na Bebida “vacinas” com mRNA mensageiro.”

ANEXO V - Reportagem da BBC “Cancer a gripe

De câncer a gripe, as doenças na mira de novas vacinas de mRNA após covid

Existem certas ideias que, apesar de promissoras, ficam empacadas e demoram para virar realidade. De certa maneira, as vacinas de mRNA se encaixam nesse conceito: são estudadas há décadas, mas só fizeram uma "estreia oficial" durante a pandemia de covid-19, quando as farmacêuticas Pfizer/BioNTech e Moderna lançaram os primeiros imunizantes baseados nessa tecnologia.

Como você vai entender ao longo deste artigo, essa plataforma que ajudou a conter as ondas de casos, hospitalizações e mortes relacionadas ao coronavírus foi inicialmente pensada como um tratamento contra o câncer há várias décadas.

E agora, graças à alta efetividade das vacinas recentes, o mRNA vive uma "era de ouro" e é testado como possível opção terapêutica contra as mais variadas doenças — dos tumores à gripe; do colesterol alto ao lúpus.

Mas como essa tecnologia chegou até aqui? E quais são os próximos passos para que ela seja usada em diversas áreas da medicina? Segundo especialistas ouvidos pela BBC News Brasil, as possibilidades nesse campo da ciência são as mais variadas — e dependem apenas do investimento financeiro e da criatividade humana.

Mas, para chegarmos a esses detalhes, é preciso antes entender um dos processos mais fundamentais da nossa própria biologia.

Mini-impressoras dentro de nós

Com exceção de óvulos e espermatozoides, todas as células do nosso corpo carregam dentro do núcleo o genoma completo, o DNA.

Nesse conjunto de cromossomos, estão "escritas" muitas das informações que definem os processos orgânicos, as características físicas e a propensão a determinadas doenças de cada um de nós.

Mas o DNA sozinho não faz nada: quando ele precisa enviar algum comando à célula, essa fita em dupla hélice gera uma cópia simples de determinado trecho do código genético.

Esse "xerox" genético vem numa fita simples e é o que conhecemos como RNA mensageiro, ou mRNA.

Esse material então sai do núcleo e viaja até os ribossomos, no citoplasma da célula. Essa estrutura lê a "receita" genética do mRNA e fabrica uma proteína específica relacionada àquele comando escrito no DNA.

Desde que esse mecanismo foi conhecido, a partir dos anos 1960, os cientistas começaram a se perguntar: será que é possível aproveitar essas "mini-impressoras" que carregamos dentro das células para produzir proteínas específicas?

O objetivo era que essas proteínas tivessem algum fim terapêutico, e pudessem servir para gerar uma resposta do sistema imunológico — o que permitiria combater o crescimento de um tumor ou a invasão de um vírus mortal, por exemplo.

Mas é claro que a ideia não funcionou logo de cara. A principal barreira a ser superada tinha a ver com o fato de o mRNA ser uma molécula muito frágil — como se trata apenas de uma mensageira, ela logo se degrada no organismo.

Nos primeiros experimentos, os mRNAs sintetizados em laboratório sequer conseguiam chegar perto das células. Eles estragavam pelo caminho, antes de cumprir a missão para o qual foram projetados.

Além disso, esses compostos se mostraram altamente inflamatórios. Eles geraram uma reação imunológica forte, que colocava em risco o próprio uso desse princípio na medicina.

Essas dificuldades foram superadas graças a dois trabalhos distintos. O primeiro deles, comandado pelo médico americano Drew Weissman e pela bioquímica húngara Katalin Karikó, descobriu que algumas modificações básicas na estrutura do mRNA poderiam deixá-lo menos inflamatório.

O segundo, que envolveu vários grupos de pesquisa, como o comandado pelo bioquímico canadense Pieter Cullis, descobriu que "embrulhar" a fita de mRNA numa nanopartícula de lipídios (ou gordura) é uma forma eficaz de protegê-lo da degradação. Assim, essa molécula pode ser injetada, viajar pelo organismo e chegar às células onde cumprirá a função para a qual foi projetada.

"Com essas modificações, a ciência estava diante de uma ferramenta potente e poderosa", diz o biomédico Joel Rurik, que estuda essa tecnologia na Escola de Medicina Perelman da Universidade da Pensilvânia, nos Estados Unidos.

"Trabalhar com o mRNA é algo relativamente simples e rápido. Basta fazer o download da sequência genética no computador e pedir para uma bioimpressora imprimir este material. Você consegue produzir toneladas dele sem a necessidade de usar uma única célula", complementa o cientista, que participou recentemente do Simpósio Internacional de Imunobiológicos da Fundação Oswaldo Cruz/Bio-Manguinhos, no Rio de Janeiro.

"Falamos, portanto, de uma estratégia custo-efetiva, estável, com facilidade de distribuição e que pode ser usada de forma mais ampla ou fácil que muitas ferramentas terapêuticas ou de engenharia imunológica", resume.

'Estreia' antecipada

Ainda que os testes clínicos com as primeiras vacinas de mRNA tenham começado no início dos anos 2000, a comunidade científica esperava que as primeiras versões comercialmente disponíveis, aprovadas pelas agências regulatórias, só chegassem ao mercado em meados de 2025.

Até que veio a covid-19 e tudo mudou. A emergência da pior pandemia em um século exigiu que muitos especialistas mudassem os planos e começassem a estudar um vírus absolutamente novo: o Sars-CoV-2.

Assim que o sequenciamento genético do causador da covid foi concluído, ainda em janeiro de 2020, os grupos que já trabalhavam com imunizantes de mRNA para outros patógenos (como o vírus sincicial respiratório) direcionaram os esforços para o novo coronavírus.

Em março daquele mesmo ano, os primeiros estudos clínicos dessas vacinas começaram a acontecer. Dez meses depois, em dezembro, a Food and Drug Administration (FDA), a agência regulatória dos EUA, aprovou os dois produtos com a tecnologia mRNA desenvolvidos e testados pelas farmacêuticas Moderna e Pfizer/BioNTech.

Pouco depois, eles também foram liberados em outras partes do mundo — no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) deu sinal verde para o uso do imunizante da Pfizer em 23 de fevereiro de 2021.

Essa foi a primeira vez na história que uma vacina de mRNA chegou ao braço das pessoas fora do ambiente das pesquisas científicas.

Ela se baseia naquele princípio explicado no início desta reportagem: cada dose do produto traz uma fita de RNA mensageiro (mRNA), que instrui as células do nosso próprio organismo a fabricar a proteína S (de Spike, ou espícula em português) presente na superfície do coronavírus.

A partir daí, o sistema imunológico reconhece esse material e gera uma resposta, capaz de proteger caso o agente infeccioso de verdade tente invadir o corpo.

O que vem por aí

De acordo com a imunologista Cristina Bonorino, professora da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, o próximo "passo natural" para o mRNA é que ele seja usado para desenvolver vacinas contra outras doenças infecciosas.

Inclusive, laboratórios já estão realizando testes de imunizantes contra todos os tipos de coronavírus, o influenza, o zika, o chikungunya, a dengue, a malária, o HIV...

Segundo o ClinicalTrials.Gov, site que registra todos os testes clínicos em andamento nos Estados Unidos, existem atualmente 807 estudos do tipo em andamento que avaliam algum aspecto dessa plataforma tecnológica.

"O fator que pode limitar ou acelerar esses trabalhos é justamente o dinheiro. Com investimento, é possível fazer as conexões entre os especialistas e resolver muitos dos problemas de saúde mais complexos", complementa ela.

Rurik concorda e classifica esse campo da ciência como "empolgante".

"As vacinas de mRNA usadas contra a covid-19 lançaram um enorme holofote na área. Com isso, vieram os investimentos privados e os programas governamentais de incentivo", contextualiza.

O próprio trabalho do biomédico é um exemplo disso. Nos últimos anos, ele investiga se o mRNA pode servir como uma ferramenta para que as células de defesa reconheçam e destruam fibroblastos "doentes" no coração.

Os fibroblastos são um tipo de célula que forma a estrutura do músculo cardíaco. Quando essas unidades apresentam algum tipo de defeito, isso pode representar a origem de uma doença crônica (como a insuficiência cardíaca) ou aguda (como o infarto).

"Treinar" as células imunológicas para identificar os fibroblastos defeituosos, portanto, pode se tornar, no futuro, um caminho para prevenir as condições que afetam o coração.

Ainda no mundo da cardiologia, outros grupos trabalham com o mRNA como uma forma de baixar o LDL, o colesterol ruim. Essa molécula está diretamente relacionada com uma série de desfechos perigosos, como o próprio infarto e o Acidente Vascular Cerebral (AVC).

Isso porque algumas pessoas possuem um gene que faz elas expressarem demais uma proteína chamada PCSK9, o que leva o colesterol às alturas. Inibir essa fabricação excessiva por meio do mRNA poderia ser um caminho para lidar de forma definitiva com esse fator de risco para tantas doenças cardiovasculares.

E o câncer?

Aos poucos, a tecnologia do mRNA volta às suas origens: as pesquisas sobre o uso dessas vacinas contra tumores começaram a ganhar mais fôlego nos últimos meses.

"O câncer é uma fonte de muitas mutações genéticas. Além disso, ele tem a característica de produzir certas moléculas capazes de suprimir o sistema imunológico", contextualiza Bonorino.

Em outras palavras, as células cancerosas são capazes de produzir determinadas substâncias que bloqueiam a imunidade. Com isso, as unidades de defesa não reconhecem a ameaça — e o tumor cresce no corpo sem encontrar resistência.

Já existem atualmente tratamentos que tiram essa "venda" das unidades de defesa e permitem que o próprio sistema imunológico passe a atacar o câncer. Esse grupo de fármacos é conhecido como imunoterapia, e está disponível contra o melanoma e outros tipos da doença.

Mas e se fosse possível aplicar uma vacina de mRNA para que o organismo do paciente identificasse certas mutações tumorais mais comuns? Ou ainda criar um produto farmacêutico totalmente personalizado, baseado nas alterações genéticas que aparecem em cada indivíduo com câncer?

"Além disso, um dos grandes sonhos da oncologia sempre foi desenvolver uma espécie de ‘memória imunológica’ contra o câncer, de modo que o sistema imune saiba quando o tumor retornou ou está se espalhando para outros tecidos", acrescenta a imunologista.

Todas essas possibilidades estão sendo testadas agora por grupos de pesquisas e farmacêuticas.

O passo concreto mais recente do mRNA contra o câncer foi anunciado pelos laboratórios Moderna e MSD: uma vacina experimental contra o melanoma foi capaz de diminuir o risco de morte em 44% quando associado à imunoterapia.

Vale ponderar, no entanto, que o produto ainda está em desenvolvimento e precisa passar por novas etapas de estudo antes de chegar às clínicas e aos hospitais.

Muito além do câncer

Por fim, Rurik aponta que o mRNA não é mais uma plataforma exclusiva para doenças infecciosas, cardíacas ou oncológicas.

"Também já vemos estudos em andamento para tratar lúpus e outras doenças autoimunes", exemplifica.

Mas, para que isso realmente aconteça, os cientistas precisarão ainda trabalhar bastante para provar a segurança e a eficácia de tantas novidades.

O principal desafio será demonstrar que todas essas terapias não geram problemas no sistema imunológico ou prejudicam o funcionamento de órgãos vitais, como o fígado.

"Mas é inegável que há muita coisa acontecendo agora com o mRNA, e tenho certeza que ideias ‘malucas’, que imaginávamos

gov.br
Documento assinado digitalmente
MAURA KETA FERNANDES
Data: 26/04/2025 18:03:10-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Mestranda:

gov.br
Documento assinado digitalmente
MICHELE MUNK PEREIRA
Data: 29/04/2025 09:33:16-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Orientadora:

Juiz de Fora, 24 de abril de 2025.