

CAPÍTULO 11

AVANÇOS EM INOVAÇÃO TERAPÊUTICA COM NANOPARTÍCULAS NO CONTEXTO DA MEDICINA PERSONALIZADA E DA BIOTECNOLOGIA APLICADA À SAÚDE

ADVANCES IN THERAPEUTIC INNOVATION WITH NANOPARTICLES IN THE
CONTEXT OF PERSONALIZED MEDICINE AND BIOTECHNOLOGY APPLIED TO
HEALTH

AVANCES EN INNOVACIÓN TERAPÉUTICA CON NANOPARTÍCULAS EN EL
CONTEXTO DE LA MEDICINA PERSONALIZADA Y LA BIOTECNOLOGÍA
APLICADA A LA SALUD

DATA DE SUBMISSÃO: 10/09/2025 | DATA DE ACEITE: 24/09/2025 | DATA DE PUBLICAÇÃO: 15/10/2025

NELSON PINTO GOMES¹

OLIVIA MARIA DA SILVA AMORIM²

MARIA DO SOCORRO PAIXÃO DE OLIVEIRA NETA³

CAROLINA VITORATTO GRUNEWALD⁴

CARLA FERNANDA COUTO RODRIGUES⁵

NATALIA CUSTÓDIO MACHADO GONZAGA⁶

ANDREI DIAS CÓSTA⁷

THAINARA SOARES DOS SANTOS⁸

DANIEL GOMES FIALHO⁹

ELISABETE SOARES DE SANTANA¹⁰

¹Médico. Mestre em Peritagem Médica e Avaliação do Dano Corporal e Associado da Associação Portuguesa de Avaliação do Dano Corporal (APADAC) no 1017. Universidad Cardenal Herrera CEU em Espanha, São Brás de Alportel, Portugal.

²Pós Graduada em Fisioterapia em Terapia Intensiva pelo Centro Universitário Santo Agostinho (UNIFSA), Teresina, PI, Brasil.

³Graduada em Biomedicina pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brasil

⁴Médica Generalista Formada pela Universidade do Oeste Paulista –SP. Residente de Clínica Médica pelo Hospital de Base, São José do Rio Preto, SP, Brasil.

⁵Mestranda em Ciências Farmacêuticas na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil.

⁶Médica pela Universidad Autonoma San Sebastian – UASS, Alejo García, Paraguai.

⁷Nutricionista. Especialista em Terapia Intensiva. Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ciências da Saúde pela Universidade do Sul de Santa Catarina, São José, SC, Brasil.

⁸Graduada em Farmácia pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

⁹Médico com Residência em Psiquiatria e pós-graduação em UTI, Universidade de Mogi das Cruzes (UMC), São Paulo, Brasil.

¹⁰Mestranda em Ciência de Materiais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil.



RESUMO

OBJETIVO: Este estudo analisou os avanços recentes no desenvolvimento e aplicação de nanopartículas terapêuticas na medicina personalizada, com ênfase na seletividade, eficácia clínica e segurança, considerando inovações entre 2021 e 2025.

MÉTODOS: Trata-se de revisão de literatura realizada entre abril e junho de 2025, com base em critérios de rigor científico e práticas consolidadas em revisões sistemáticas. Foram consultadas PubMed, Medline, Scopus e Cochrane Library, utilizando descritores DeCS/MeSH. Incluíram-se artigos completos em português, inglês ou espanhol, publicados de 2021 a 2025, relacionados ao uso terapêutico de nanopartículas em medicina personalizada. **RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Dos 92 estudos identificados, 16 atenderam aos critérios de inclusão. As evidências apontaram avanços com nanopartículas lipídicas, poliméricas e metálicas funcionalizadas, aplicadas principalmente em oncologia, doenças neurodegenerativas e terapias gênicas. Destacaram-se tecnologias responsivas a pH e enzimas, capazes de otimizar a liberação seletiva e reduzir efeitos adversos. Observou-se também uso crescente de nanopartículas para entrega de mRNA, associado à integração com bioinformática e ciências ômicas. **CONCLUSÃO:** As nanopartículas apresentam elevado potencial para a medicina personalizada, mas sua incorporação clínica requer padronização de protocolos, avaliação de segurança, escalabilidade produtiva e acesso equitativo. A convergência com inteligência artificial e dados ômicos configura caminho promissor para terapias mais direcionadas e eficazes.

PALAVRAS-CHAVE: Nanopartículas; Medicina Personalizada; Biotecnologia em Saúde; Liberação Controlada; Inovação Terapêutica.

ABSTRACT

OBJECTIVE: This study analyzed recent advances in the development and application of therapeutic nanoparticles in personalized medicine, with emphasis on selectivity, clinical efficacy, and safety, considering innovations between 2021 and 2025. **METHODS:** A literature review was conducted between April and June 2025, based on rigorous scientific criteria and consolidated practices in systematic reviews. PubMed, Medline, Scopus, and Cochrane Library databases were searched using DeCS/MeSH descriptors. Full-text articles in Portuguese, English, or Spanish, published between 2021 and 2025, related to the therapeutic use of nanoparticles in personalized medicine, were included. **RESULTS AND DISCUSSION:** Of the 92 studies identified, 16 met the inclusion criteria. Evidence highlighted advances with lipidic, polymeric, and functionalized metallic nanoparticles, mainly applied in oncology, neurodegenerative diseases, and gene therapies. Responsive technologies to pH and enzymes proved capable of optimizing selective release and reducing adverse effects. Growing use of nanoparticles for mRNA delivery, integrated with bioinformatics and omics sciences, was also observed. **CONCLUSION:** Nanoparticles show great potential in personalized medicine, but their clinical incorporation requires protocol standardization, safety assessment, production scalability, and equitable access. Convergence with artificial intelligence and omics data emerges as a promising path for more targeted and effective therapies.

KEYWORDS: Nanoparticles; Personalized Medicine; Health Biotechnology; Controlled Release; Therapeutic Innovation.

RESUMEN

OBJETIVO: Este estudio analizó los avances recientes en el desarrollo y aplicación de nanopartículas terapéuticas en la medicina personalizada, con énfasis en la selectividad, eficacia clínica y seguridad, considerando innovaciones entre 2021 y 2025. **MÉTODOS:** Se realizó una revisión de la literatura entre abril y junio de 2025, basada en criterios de rigor científico y prácticas consolidadas en revisiones sistemáticas. Se consultaron las bases PubMed, Medline, Scopus y Cochrane Library, utilizando descriptores DeCS/MeSH. Se incluyeron artículos completos en portugués, inglés o español, publicados entre 2021 y 2025, relacionados con el uso terapéutico de nanopartículas en medicina personalizada. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN:** De los 92 estudios identificados, 16 cumplieron los criterios de inclusión. La evidencia destacó avances con nanopartículas lipídicas, poliméricas y metálicas funcionalizadas, aplicadas principalmente en oncología, enfermedades neurodegenerativas y terapias génicas. Las tecnologías sensibles al pH y enzimas demostraron capacidad para optimizar la liberación selectiva y reducir efectos adversos. También se observó el uso creciente de nanopartículas para la administración de ARNm, integradas con bioinformática y ciencias ómicas. **CONCLUSIÓN:** Las nanopartículas presentan un gran potencial en la medicina personalizada, pero su incorporación clínica requiere estandarización de protocolos, evaluación de seguridad, escalabilidad productiva y acceso equitativo. La convergencia con inteligencia artificial y datos ómicos se configura como una vía prometedora para terapias más dirigidas y eficaces.

PALABRAS CLAVE: Nanopartículas; Medicina Personalizada; Biotecnología en Salud; Liberación Controlada; Innovación Terapéutica.

1. INTRODUÇÃO

O uso de nanopartículas em terapias médicas tem avançado significativamente nos últimos anos, consolidando-se como uma das abordagens mais promissoras da biotecnologia moderna. Essas estruturas ultrafinas, geralmente entre 1 e 100 nanômetros, oferecem vantagens como maior biodisponibilidade, liberação controlada de fármacos e capacidade de atravessar barreiras biológicas complexas (Ahmed; Qaisar, 2022). No contexto da saúde, essas propriedades têm impulsionado a inovação em tratamentos personalizados, sobretudo em áreas como oncologia, doenças autoimunes e infecções resistentes.

A medicina personalizada, por sua vez, tem se beneficiado diretamente da nanotecnologia para promover intervenções mais eficazes, baseadas em características genéticas, moleculares e ambientais de cada paciente. Nanopartículas funcionalizadas podem ser projetadas para reconhecer alvos específicos, aumentando a seletividade e diminuindo os efeitos colaterais sistêmicos (Deivayanai *et al.*, 2024). Essa sinergia entre diagnóstico e tratamento, conhecida como “teranóstica”, tem sido explorada em múltiplos ensaios clínicos com resultados promissores, sobretudo em terapias de RNA e imunoterapia tumoral.

Além disso, a biotecnologia aplicada à saúde tem promovido avanços consideráveis na produção e modulação de nanossistemas inteligentes. Tecnologias recentes vêm possibilitando o encapsulamento de materiais genéticos como mRNA e siRNA em nanopartículas lipídicas e poliméricas, otimizando sua entrega intracelular e expressão gênica direcionada (Dong *et al.*, 2021). Esse tipo de abordagem foi determinante, por exemplo, para o desenvolvimento das vacinas de mRNA utilizadas durante a pandemia da COVID-19, o que impulsionou globalmente a confiança nas terapias baseadas em nanotecnologia.

Outra frente em crescimento envolve os nanodispositivos responsivos a estímulos internos ou externos, como variações de pH, temperatura ou presença de enzimas tumorais. Esses sistemas são capazes de liberar fármacos de maneira controlada apenas no microambiente patológico, o que eleva significativamente a eficácia do tratamento (Fisusi; Fredua Agyeman, 2025). Essa tecnologia se mostra especialmente relevante em doenças de difícil tratamento, como certos tipos de câncer de pâncreas e cérebro, onde a barreira hematoencefálica representa um desafio crítico à terapia convencional.

Dessa forma, os avanços em inovação terapêutica com nanopartículas no contexto da medicina personalizada e da biotecnologia representam uma transformação estrutural na forma como se pensa e pratica a atenção à saúde. A integração dessas ferramentas permite não

apenas maior eficácia clínica, mas também ganhos éticos e econômicos, ao reduzir o tempo de tratamento, os custos com internações e os impactos adversos (Kumar *et al.*, 2021).

Este trabalho tem como objetivo analisar os avanços recentes no desenvolvimento e aplicação de nanopartículas terapêuticas no contexto da medicina personalizada, destacando como a biotecnologia tem viabilizado sistemas inteligentes de liberação de fármacos, com foco na seletividade, eficácia clínica e segurança. Busca-se discutir as inovações tecnológicas ocorridas entre 2021 e 2025, suas implicações práticas no tratamento de doenças complexas, e as perspectivas futuras para a integração dessas abordagens nos protocolos terapêuticos personalizados.

2. MÉTODOS

Este estudo consiste em uma revisão de literatura realizada entre abril e setembro de 2025, fundamentada em critérios de rigor científico e em práticas metodológicas consolidadas em revisões sistemáticas. A investigação concentrou-se na identificação, seleção crítica e síntese de publicações recentes relacionadas ao uso de nanopartículas na medicina personalizada e na biotecnologia aplicada à saúde, contemplando avanços terapêuticos reportados no período.

O foco principal está na análise crítica das estratégias de aplicação, na eficácia clínica das formulações desenvolvidas e nos desafios técnicos, regulatórios e éticos que permeiam essa abordagem inovadora. Para garantir rigor metodológico, a revisão seguiu as recomendações do Instituto Joanna Briggs (JBI, 2022), aliadas à estrutura proposta por Galvão, Pansani e Harrad (2015), contemplando cinco etapas principais: (1) formulação da questão de pesquisa; (2) identificação dos estudos relevantes; (3) triagem e seleção com base em critérios de elegibilidade; (4) extração sistemática dos dados; e (5) síntese qualitativa dos resultados.

A delimitação da temática foi orientada pela estratégia PICO (Santos, Pimenta e Nobre, 2007), aplicada da seguinte forma: **P (População)**: indivíduos submetidos a intervenções terapêuticas envolvendo nanopartículas, independentemente da faixa etária; **I (Interesse)**: uso de nanopartículas como vetores terapêuticos inovadores, com destaque para liberação controlada, funcionalização de superfície e resposta a estímulos biológicos; **Co (Contexto)**: aplicações no escopo da medicina personalizada e da biotecnologia em saúde. Com base nesses elementos, a pergunta norteadora do estudo foi: “Quais são os principais avanços na utilização de nanopartículas no tratamento de doenças complexas, e como essas tecnologias

têm contribuído para o aprimoramento da medicina personalizada e da inovação biotecnológica na área da saúde?”.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida nas bases científicas PubMed, Medline e Cochrane Library, complementada por buscas no scopus para a identificação de estudos relevantes não indexados em bases tradicionais. A formulação dos descritores foi realizada com base no vocabulário controlado DeCS/MeSH, disponível na Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), considerando os principais termos relacionados à temática. Após refinamento, os seguintes termos foram utilizados em inglês, com operadores booleanos AND e OR: *("Nanoparticles") AND ("Therapeutics" OR "Drug Delivery Systems" OR "Targeted Therapy") AND ("Personalized Medicine") AND ("Biotechnology" OR "Biomedical Innovation")*. Estudos duplicados foram removidos manualmente, e os títulos e resumos foram lidos de forma independente por dois revisores.

Seguindo o modelo de fluxograma metodológico adaptado de Galvão, Pansani e Harrad (2015), a seleção dos estudos seguiu quatro subetapas: (1) **Identificação** dos estudos por meio de buscas nas bases; (2) **Seleção preliminar**, com leitura de títulos e resumos para triagem dos artigos potencialmente elegíveis; (3) **Avaliação da elegibilidade**, considerando os critérios de inclusão e exclusão definidos previamente; e (4) **Inclusão final**, por meio de consenso entre os revisores quanto à pertinência, qualidade e atualidade dos estudos. O processo buscou assegurar a validade interna da revisão e minimizar o risco de viés de seleção.

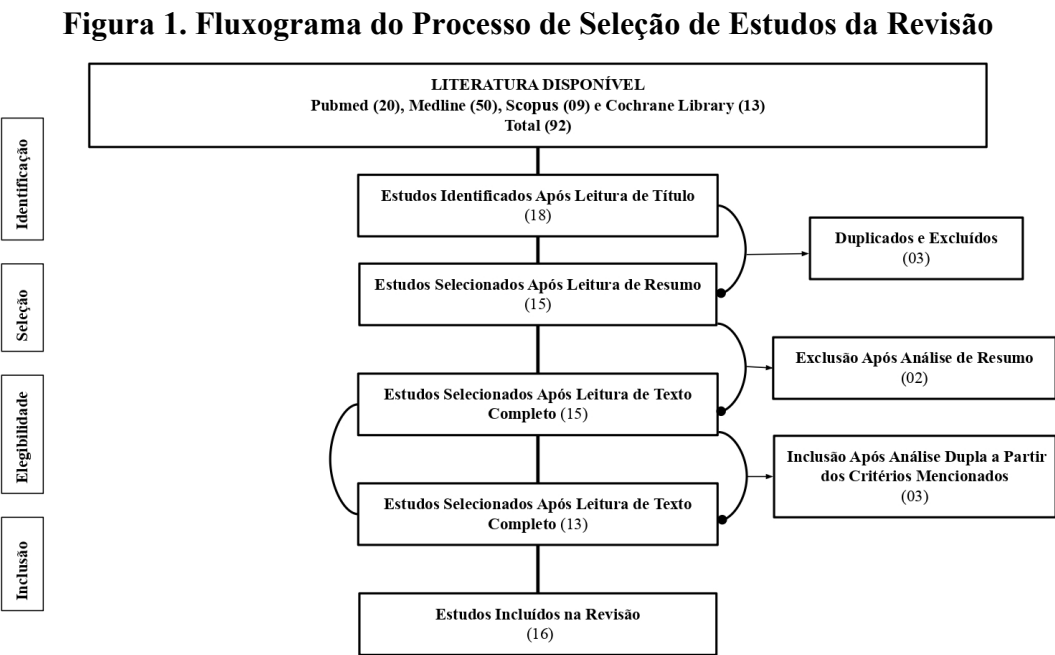
Os critérios de inclusão adotados foram: publicados entre 2021 e 2025, com texto completo disponível nos idiomas português, inglês ou espanhol, e que abordassem de forma específica o uso terapêutico de nanopartículas, seja em ensaios clínicos, estudos pré-clínicos, revisões sistemáticas ou meta-análises, com foco em medicina personalizada ou em inovação biotecnológica em saúde. Foram excluídos estudos com enfoque exclusivo em aplicações cosméticas, nanomateriais sem uso terapêutico, revisões narrativas sem rigor metodológico, bem como artigos voltados apenas ao desenvolvimento industrial ou físico-químico sem vínculo direto com aplicações médicas. A análise dos dados extraiu informações sobre os tipos de nanopartículas utilizadas (lipídicas, poliméricas, metálicas, híbridas), doenças-alvo, mecanismos de ação, vias de administração, desempenho terapêutico e desafios enfrentados na translação clínica dessas tecnologias.

Além de mapear as principais inovações tecnológicas, esta revisão também considerou aspectos regulatórios e bioéticos relacionados ao uso de nanopartículas em seres humanos, como a biocompatibilidade, os efeitos colaterais, os desafios na produção em escala industrial

e a aprovação por agências reguladoras. Por fim, buscou-se evidenciar as lacunas na literatura, identificando áreas que ainda carecem de estudos robustos e que representam oportunidades futuras de pesquisa no campo da nanotecnologia aplicada à saúde.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de seleção dos estudos seguiu o modelo PRISMA, adaptado à presente revisão sistemática. A busca realizada entre abril e junho de 2025 resultou na identificação de 92 estudos nas bases PubMed, MedLine, Scopus e Cochrane Library. Após a leitura dos títulos, 18 estudos foram considerados potencialmente relevantes. Durante a triagem, 3 registros duplicados foram removidos, restando 15 estudos para avaliação dos resumos. Nessa etapa, 2 estudos foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade metodológica ou temática, totalizando 13 estudos submetidos à leitura do texto completo.



Fonte: Autores, 2025.

Todos os 13 artigos foram inicialmente selecionados pelo primeiro revisor e validados pelo segundo. Em seguida, uma nova rodada de busca complementar identificou mais 3 estudos que se enquadraram integralmente nos critérios definidos, resultando em 16 estudos incluídos na revisão final. Esse processo de triagem e inclusão seguiu rigorosamente os critérios de qualidade científica, atualidade e pertinência temática ao escopo da revisão, que

trata dos avanços em inovação terapêutica com nanopartículas aplicadas à medicina personalizada e à biotecnologia em saúde.

A análise dos 16 estudos incluídos evidenciou um avanço significativo na aplicação de nanopartículas em sistemas terapêuticos personalizados, com predominância de pesquisas voltadas para oncologia, doenças neurológicas e terapias gênicas. A maioria dos artigos destacou o uso de nanopartículas lipídicas, poliméricas e metálicas funcionalizadas como plataformas eficazes para o transporte de fármacos, genes e biomoléculas em alvos específicos (Lakshmanan *et al.*, 2021; Luo *et al.*, 2025). O encapsulamento de agentes terapêuticos em nanocarreadores tem demonstrado resultados promissores na proteção contra degradação enzimática, aumento da biodisponibilidade e liberação controlada em microambientes patológicos, especialmente em tumores sólidos.

Entre os estudos analisados, foi recorrente a utilização de tecnologias de liberação responsiva a estímulos biológicos, como pH ácido, temperatura elevada e enzimas específicas, para garantir a ativação do fármaco apenas na região-alvo. Essa abordagem foi particularmente relevante em casos de glioblastoma e câncer de pâncreas, onde a barreira hematoencefálica e o microambiente tumoral representam desafios terapêuticos substanciais (Rehan *et al.*, 2024). Em alguns ensaios pré-clínicos, nanopartículas funcionais foram associadas a ligantes específicos, como anticorpos monoclonais ou aptâmeros, aumentando significativamente a seletividade e a penetração celular (Shakeel, 2023).

Outro achado relevante refere-se ao uso de nanopartículas para a entrega de RNA mensageiro (mRNA), destacando-se as formulações inspiradas nas vacinas desenvolvidas para a COVID-19, que serviram como modelo para novas terapias baseadas em ácidos nucleicos. Estudos recentes mostraram que nanopartículas lipídicas podem ser adaptadas para tratar doenças genéticas raras, distúrbios hematológicos e até para reprogramação celular em terapias regenerativas (Sharma, Akram, Joshi, 2025). Além da eficácia clínica, os estudos também apontaram ganhos em termos de segurança farmacológica, com menor toxicidade sistêmica e maior estabilidade da formulação.

Por fim, observou-se uma crescente integração entre nanotecnologia, bioinformática e análise de dados únicos, como genômica, transcriptômica e proteômica, no desenvolvimento de terapias personalizadas. Essa convergência tecnológica tem viabilizado a produção de nanomedicamentos adaptados a perfis moleculares específicos, com possibilidade de rastreamento em tempo real e monitoramento terapêutico individualizado (Thapa; Diep, Tønnesen, 2021). Apesar dos avanços, os estudos também destacaram lacunas importantes, como a necessidade de padronização nos testes de biocompatibilidade, maior robustez nos

ensaios clínicos multicêntricos e a superação de barreiras regulatórias para aprovação e comercialização em larga escala.

Os resultados evidenciam que as nanopartículas constituem uma ferramenta revolucionária para o aprimoramento da medicina personalizada, especialmente no que diz respeito à entrega seletiva e controlada de agentes terapêuticos. Conforme destacado por Umapathy *et al.* (2022), a funcionalização das superfícies nanoparticuladas com ligantes específicos potencializa a seletividade das terapias, reduzindo efeitos colaterais e aumentando a eficiência clínica. Tal característica é fundamental para doenças complexas e heterogêneas, como alguns tipos de câncer, onde o perfil molecular do paciente determina a resposta ao tratamento (Cabral *et al.*, 2024).

Adicionalmente, a capacidade das nanopartículas de responderem a estímulos ambientais, como mudanças de pH e presença de enzimas específicas, tem ampliado as possibilidades de liberação dirigida. Segundo Zhang *et al.* (2023), esses sistemas inteligentes oferecem uma vantagem significativa frente aos tratamentos convencionais, pois minimizam a exposição sistêmica aos fármacos e potencializam o impacto terapêutico no tecido doente. Todavia, a complexidade na fabricação e a necessidade de avaliação rigorosa da biocompatibilidade ainda representam desafios importantes para a sua translação clínica.

O uso de nanopartículas para a entrega de RNA mensageiro (mRNA) tem sido destacado como um dos maiores avanços da biotecnologia recente, em grande parte impulsionado pelo sucesso das vacinas contra a COVID-19 (Ahmed; Qaisar, 2022). Essa tecnologia, além de ter revolucionado a imunização, abriu caminho para terapias genéticas personalizadas em doenças até então intratáveis, como algumas condições genéticas raras e cânceres resistentes. No entanto, estudos indicam que a estabilidade e o transporte eficiente dessas nanopartículas ainda precisam ser aprimorados para garantir a segurança e a eficácia a longo prazo (Dong *et al.*, 2021).

Outra dimensão importante é a integração entre nanotecnologia e as ciências ômicas, que tem permitido o desenvolvimento de terapias ajustadas a perfis moleculares detalhados. Deivayanai *et al.* (2024) ressaltam que essa convergência facilita a criação de nanomedicamentos capazes de atuar conforme as alterações genéticas e proteômicas específicas do paciente, promovendo tratamentos verdadeiramente personalizados. Apesar disso, ainda existem lacunas no conhecimento sobre o comportamento *in vivo* desses sistemas, o que requer investigações mais aprofundadas e padronizadas.

O avanço regulatório tem acompanhado, embora lentamente, as inovações em nanotecnologia aplicada à saúde. Segundo Fisusi, Fredua Agyeman (2025), a falta de

diretrizes específicas para avaliação toxicológica e farmacocinética de nanomateriais terapêuticos constitui uma barreira significativa para a aprovação e comercialização dessas tecnologias. Essa lacuna demanda a construção de protocolos internacionais que garantam a segurança sem comprometer a inovação, um desafio que envolve órgãos reguladores, pesquisadores e a indústria farmacêutica (Souza *et al.*, 2025).

Além das questões técnicas e regulatórias, o custo de produção e a escalabilidade das nanopartículas representam obstáculos para a implementação em larga escala, principalmente em países com sistemas de saúde públicos e recursos limitados (Kumar *et al.*, 2021). A busca por processos mais eficientes e econômicos para a fabricação dessas plataformas será essencial para que os benefícios da nanotecnologia possam ser acessíveis a populações diversas e não apenas a nichos restritos.

É importante também destacar o impacto ético e social que a medicina personalizada, impulsionada pela nanotecnologia, pode gerar. Conforme discutido por Lakshmanan *et al.* (2021), a desigualdade no acesso a essas tecnologias pode exacerbar disparidades em saúde, exigindo políticas públicas que promovam a inclusão e a equidade no atendimento. A educação e o engajamento dos profissionais de saúde e da população em geral são fundamentais para garantir que essas inovações sejam utilizadas de forma responsável e consciente (Freire, 2025).

Finalmente, os estudos apontam para um futuro promissor em que a nanotecnologia, aliada à inteligência artificial e à biotecnologia, permitirá não só o tratamento, mas também a prevenção personalizada de doenças, com monitoramento contínuo e intervenções precoces (Luo *et al.*, 2023). A consolidação dessa visão, entretanto, depende do investimento contínuo em pesquisa interdisciplinar, formação de recursos humanos qualificados e colaboração internacional, para que os avanços científicos se traduzam em melhorias efetivas na saúde global.

4. CONCLUSÃO

Os avanços na utilização de nanopartículas como ferramentas terapêuticas têm demonstrado um impacto significativo no desenvolvimento da medicina personalizada, permitindo tratamentos mais eficazes, seletivos e com menor toxicidade sistêmica. A capacidade de direcionar a liberação de fármacos e material genético a locais específicos, associada à resposta a estímulos biológicos, representa um salto tecnológico que potencializa a eficácia clínica e minimiza os efeitos adversos, especialmente em doenças complexas como o câncer e distúrbios genéticos.

Apesar das inovações promissoras, desafios técnicos, regulatórios e econômicos ainda limitam a transição dessas tecnologias do ambiente experimental para a prática clínica ampla. A necessidade de padronização de protocolos, testes rigorosos de biocompatibilidade e o desenvolvimento de processos de fabricação escaláveis são aspectos cruciais que demandam maior atenção para que o potencial terapêutico das nanopartículas possa ser plenamente aproveitado. Além disso, a consideração dos aspectos éticos e sociais relacionados ao acesso e à equidade é fundamental para que essas inovações promovam benefícios globais e inclusivos.

Por fim, a integração da nanotecnologia com outras áreas emergentes, como a bioinformática e as ciências ômicas, aponta para um futuro de saúde cada vez mais personalizado e eficiente. O investimento contínuo em pesquisa interdisciplinar e em políticas públicas que incentivem a inovação e o acesso equitativo será determinante para consolidar esses avanços, transformando-os em soluções concretas para o tratamento e prevenção de doenças, elevando a qualidade de vida dos pacientes em escala global.

DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Os autores desta revisão de literatura são especialistas em áreas multidisciplinares relacionadas às Ciências da Saúde. Durante a execução deste trabalho, não houve financiamento proveniente de fontes externas para a pesquisa ou elaboração do manuscrito. Assim, os autores afirmam que não possuem conflitos financeiros ou pessoais com entidades que possam influenciar o conteúdo desta revisão. Adicionalmente, os autores não têm interesses pessoais que possam comprometer a objetividade ou imparcialidade deste estudo.

REFERÊNCIAS

AHMED, Z.; QAISAR, R. Nanomedicine for treating muscle dystrophies: opportunities, challenges, and future perspectives. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 19, p. 12039, 2022.

CABRAL, A. A. S. *et al.* Lipossomas como veículos inovadores em terapias medicamentosas: otimização de sistemas de entrega de fármacos. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 13, p. e12978-e12978, 2024.

DEIVAYANAI *et al.* A comprehensive review on advances in nanoparticle-mediated cancer therapeutics: Current research and future perspectives. **Cancer Pathogenesis and Therapy**, v. 2, p. E01-E16, 2024.

DONG, Y. *et al.* Nanotecnologia moldando a terapia com células-tronco: avanços recentes, aplicação, desafios e perspectivas futuras. **Biomedicina e Farmacoterapia**, v. 137, p. 111236, 2021.

FISUSI, F. A.; FREDUA-AGYEMAN, M. Nanomedicina: tendências atuais e perspectivas futuras. In: **Avanços Diagnósticos em Medicina de Precisão e Desenvolvimento de Medicamentos**. Imprensa CRC, 2025. pág. 258-268.

FREIRE, E. M. A importância da nanotecnologia para o tratamento das doenças cardiovasculares. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 101, p. 161-184, 2025.

GALVÃO, T. F; PANSANI, T.S. A; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e serviços de saúde**, v. 24, p. 335-342, 2015.

JB I - JOANNA BRIGGS INSTITUTE. **Evidence Implementation Training Program**. 222.

KUMAR, V. *et al.* Status atual e direções futuras de nanopartículas direcionadas ao carcinoma hepatocelular e nanomedicina. **Opinião de especialista sobre entrega de medicamentos**, v. 18, n. 6, p. 673-694, 2021.

LAKSHMANAN, V.K. *et al.* Imunoterapia contra o câncer baseada em nanomedicina: tendências recentes e perspectivas futuras. **Terapia Gênica do Câncer**, v. 28, n. 9, p. 911-923, 2021.

LUO, J. *et al.* Hidróxidos duplos lamelares para nanomedicina regenerativa e engenharia de tecidos: avanços recentes e perspectivas futuras. **Jornal de Nanobiotecnologia**, v. 23, n. 1, p. 370, 2025.

REHAN, F. *et al.* Therapeutic applications of nanomedicine: recent developments and future perspectives. **Molecules**, v. 29, n. 9, p. 2073, 2024.

SANTOS, C. M. C; PIMENTA, C. A. M; NOBRE, M. R. C. A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. **Revista latino-americana de enfermagem**, v. 15, p. 508-511, 2007.

SHAKEEL, Faiyaz. nanomedicine-based drug delivery systems: recent developments and future prospects. **Molecules**, v. 28, n. 10, p. 4138, 2023.

SHARMA, P.; AKRAM, Wasim; JOSHI, Ramakant. Implantes baseados em nanotecnologia: avanços recentes e perspectivas futuras para uma série de doenças. **Jornal de Ciência de Biomateriais, Edição de Polímeros**, p. 1-26, 2025.

SOUZA, Marco Antônio Brum Figueiredo *et al.* A utilização da nanotecnologia no diagnóstico e tratamento do câncer e o impacto na vida do paciente. **Revista Eletrônica Acervo Médico**, v. 25, p. e19266-e19266, 2025.

THAPA, Raj Kumar; DIEP, Dzung B.; TØNNESEN, Hanne Hjorth. Entrega de peptídeos antimicrobianos à base de nanomedicina para infecções bacterianas: avanços recentes e perspectivas futuras. **Jornal de Investigação Farmacêutica**, v. 51, n. 4, p. 377-398, 2021.

UMAPATHY, Vidhya Rekha *et al.* Current trends and future perspectives on dental nanomaterials—an overview of nanotechnology strategies in dentistry. **Journal of King Saud University-Science**, v. 34, n. 7, p. 102231, 2022.

ZHANG, Pengfei *et al.* Cancer nanomedicine toward clinical translation: Obstacles, opportunities, and future prospects. **Med**, v. 4, n. 3, p. 147-167, 2023.