REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

NANOTECNOLOGIA APLICADA À QUÍMICA FARMACÊUTICA

NANOTECHNOLOGY APPLIED TO PHARMACEUTICAL CHEMISTRY

NANOTECNOLOGÍA APLICADA A LA QUÍMICA FARMACÉUTICA

Geraldo Henrique Kloss de Mello
Farmacêutico CRF-BA: 015839
E-mail: Klossh19@gmail.com

Júlia Silva Freire
Graduanda do 6° Período do Curso de Farmácia, Faculdade Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas - FACISA Itamaraju Bahia, Brasil
E-mail: juliafreire989@gmail.com

Matheus Carvalho dos Santos
Graduando do 6° Período do Curso de Farmácia, Faculdade Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas - FACISA Itamaraju Bahia, Brasil
E-mail: matheuscarvalho1890@gmail.com

Willemberg Nicolai
Graduando do 6° Período do Curso de Farmácia, Faculdade Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas - FACISA Itamaraju Bahia, Brasil
E-mail: willembergnicolai@gmail.com

Resumo:

A nanotecnologia é uma ciência em franca expansão que tem modificado profundamente os rumos da indústria farmacêutica e da química medicinal. Ao atuar em escala nanométrica, é possível controlar propriedades físico-químicas dos materiais, favorecendo a biodisponibilidade, a seletividade e a eficácia de fármacos. Este artigo tem como objetivo discutir as principais aplicações da nanotecnologia na Química Farmacêutica, abordando sistemas de liberação controlada, diagnósticos avançados e novas formulações farmacológicas. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão bibliográfica em bases científicas nacionais e internacionais. Constatou-se que a nanotecnologia proporciona ganhos expressivos em tratamentos oncológicos, doenças infecciosas e vacinas, mas ainda enfrenta desafios quanto à toxicidade, estabilidade e regulação. Além disso, observa-se que o desenvolvimento de nanossistemas abre caminhos para a medicina personalizada, permitindo terapias mais seguras, eficazes e inovadoras, capazes de transformar profundamente o futuro da farmacoterapia.

Palavras-chave: Nanotecnologia; Química Farmacêutica; Nanopartículas; Inovação.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

Abstract:

Nanotechnology is a rapidly expanding science that has profoundly changed the course of the pharmaceutical and medicinal chemistry industries. By operating at the nanoscale, it is possible to control the physicochemical properties of materials, favoring the bioavailability, selectivity, and efficacy of drugs. This article aims to discuss the main applications of nanotechnology in pharmaceutical chemistry, addressing controlled-release systems, advanced diagnostics, and new pharmacological formulations. The research was conducted through a literature review in national and international scientific databases. It was found that nanotechnology provides significant gains in cancer treatments, infectious diseases, and vaccines, but still faces challenges regarding toxicity, stability, and regulation. Furthermore, it is observed that the development of nanosystems opens avenues for personalized medicine, allowing for safer, more effective, and innovative therapies capable of profoundly transforming the future of pharmacotherapy.

Keywords: Nanotechnology; Pharmaceutical Chemistry; Nanoparticles; Controlled release; Innovation.

1. Introdução:

A Química Farmacêutica é o campo de estudo voltado para a pesquisa, o desenvolvimento e a otimização de substâncias bioativas com finalidade terapêutica. Ao longo das últimas décadas, a indústria farmacêutica enfrentou desafios relacionados à baixa solubilidade e biodisponibilidade de muitos fármacos, além de efeitos adversos importantes (SILVA; LIMA, 2018). Nesse contexto, a nanotecnologia emergiu como uma alternativa promissora.

O termo nanotecnologia foi primeiramente sugerido por Norio Taniguchi, em 1974, e mais tarde popularizado por Richard Feynman, em 1959, em sua célebre palestra “There’s Plenty of Room at the Bottom” (FERRARI, 2005). Essa ciência estuda e manipula materiais em escala de 1 a 100 nanômetros, possibilitando a criação de novas propriedades e funcionalidades.

Na Química Farmacêutica, a nanotecnologia tem impacto direto sobre a forma de desenvolver, formular e administrar medicamentos. Estudos indicam que nanopartículas podem direcionar fármacos a tecidos específicos, reduzindo a toxicidade e aumentando a eficiência terapêutica (PEER et al., 2007).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

Assim, compreender os avanços e as limitações dessa área é essencial para a consolidação da nanotecnologia como uma ferramenta central na farmacoterapia do século XXI.

2. Revisão da Literatura:

A literatura científica demonstra que a nanotecnologia tem assumido papel central na transformação da Química Farmacêutica, tanto pelo avanço no entendimento de materiais em escala nanométrica quanto pela possibilidade de criar sistemas terapêuticos mais eficazes. Segundo Mello et al, operar entre 1 e 100 nanômetros permite alterar características físico-químicas fundamentais, melhorando solubilidade, estabilidade e direcionamento de fármacos. Esse potencial já havia sido antecipado por autores clássicos, como Bhushan (2017), ao destacar que a maior área superficial e a capacidade de atravessar barreiras biológicas tornam os nanomateriais especialmente promissores para finalidades terapêuticas.

Os sistemas de liberação controlada são um dos temas mais recorrentes na literatura. Allen e Cullis (2013) mostram que lipossomas podem encapsular compostos hidrofílicos e hidrofóbicos, reduzindo toxicidade e ampliando o tempo de ação. De modo semelhante, Fonseca et al. (2018) descrevem que nanopartículas poliméricas prolongam a circulação sistêmica e possibilitam ajustes finos na cinética de liberação, o que é essencial para fármacos de janela terapêutica estreita. Esses achados dialogam com as considerações de Mello, Freire, Santos e Nicolai, que reforçam a relevância desses nanossistemas no desenvolvimento de formulações mais seguras.

No campo das terapias avançadas, Ferrari (2005) e Peer et al. (2007) apresentam evidências de que a nanotecnologia contribui para aumentar a seletividade tumoral, especialmente em oncologia, onde a entrega direcionada reduz danos a tecidos saudáveis. A literatura recente também enfatiza a importância dos dendrímeros para conjugação molecular, conforme discutido por Tewari et al. (2018). Esses sistemas se destacam pela estrutura altamente ramificada, que permite maior precisão no acoplamento de fármacos e ligantes.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

A nanotecnologia também impulsiona áreas como diagnósticos e vacinas. Jiang et al. (2020) detalham o uso de nanossensores e quantum dots para imagem avançada e diagnóstico precoce, enquanto Krammer (2020) descreve como nanopartículas lipídicas foram fundamentais no desenvolvimento das vacinas de mRNA contra a COVID-19 — um dos marcos mais importantes da nanotecnologia aplicada à saúde. Essa perspectiva é destacada novamente por Mello et al, que observam como esses avanços consolidam a nanotecnologia como ferramenta estratégica.

Mesmo com tantos avanços, a literatura aponta desafios. A ANVISA (2022) alerta para lacunas regulatórias, enquanto Lammers et al. (2020) destacam limites de escalabilidade industrial. Esses pontos reforçam que, embora promissora, a nanotecnologia requer cuidado, padronização e políticas claras para que seu potencial seja plenamente alcançado

3. Metodologia:

Trata-se de uma revisão bibliográfica narrativa, elaborada com o objetivo de reunir, organizar e discutir as principais evidências disponíveis sobre a aplicação da nanotecnologia na Química Farmacêutica. Para isso, foram consultadas as bases PubMed, Scopus, SciELO e Google Scholar, conhecidas por sua ampla cobertura de artigos científicos nacionais e internacionais. A busca utilizou os descritores “nanotecnologia”, “química farmacêutica”, “drug delivery”, “nanomedicine” e “nanoparticles”, combinados por meio de operadores booleanos para aumentar a precisão dos resultados. O recorte temporal abrangeu publicações entre 2000 e 2024, período em que a nanotecnologia apresentou crescimento expressivo e se consolidou como uma ferramenta estratégica no desenvolvimento farmacêutico.

Foram incluídos artigos originais que apresentavam resultados experimentais relevantes, revisões sistemáticas, diretrizes técnicas, documentos institucionais e capítulos de livros que tratassem diretamente das aplicações nanotecnológicas em sistemas de liberação de fármacos, diagnósticos, terapias avançadas ou desenvolvimento de novos materiais. Também foram considerados estudos que discutiam desafios regulatórios, questões de toxicidade e limitações de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

escalabilidade industrial, desde que relacionados ao campo farmacêutico.

Durante o processo de triagem, foram excluídos trabalhos que não apresentavam relação direta com o tema central, como estudos meramente teóricos sem aplicabilidade farmacêutica, pesquisas restritas a áreas de engenharia de materiais sem interface com medicamentos e artigos que não disponibilizavam dados completos. Além disso, publicações duplicadas, relatos muito sucintos e textos sem rigor metodológico também foram descartados.

A seleção final priorizou estudos com maior robustez científica, relevância temática e potencial para contribuir com a compreensão dos avanços e desafios da nanotecnologia aplicada à Química Farmacêutica. Essa abordagem permitiu construir um panorama abrangente e atualizado, apoiado em evidências confiáveis e alinhado às tendências mais recentes da área

4. Fundamentação Teórica:

A nanotecnologia baseia-se em propriedades únicas de materiais estruturados em escala nanométrica, cuja superfície aumentada e elevada reatividade possibilitam interações biológicas que não ocorrem em estruturas de maior dimensão. Bhushan (2017) descreve que essas características emergentes permitem manipular propriedades físico-químicas essenciais para a otimização farmacêutica, como solubilidade, estabilidade e permeabilidade em barreiras biológicas. Mello, Freire, Santos e Nicolai destacam que tais características permitem o desenvolvimento de carreadores mais eficientes, capazes de atuar com maior precisão em sistemas biológicos complexos, configurando um campo de intensa inovação na Química Farmacêutica.

Dentre os sistemas nanotecnológicos mais estudados, destacam-se:

4.1 Lipossomas:

Os lipossomas são vesículas formadas por bicamadas fosfolipídicas, capazes de encapsular moléculas hidrofílicas no interior aquoso e agentes hidrofóbicos no compartimento lipídico. Segundo Allen e Cullis (2013), esses nanocarreadores apresentam elevada biocompatibilidade e são amplamente

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

explorados em terapias oncológicas, antivirais e vacinais. Ferrari (2005) e Peer et al. (2007) também apontam que lipossomas modificados com ligantes específicos podem aumentar a seletividade tumoral e reduzir toxicidades sistêmicas. Para Mello et al., esses avanços explicam por que lipossomas se consolidaram como um dos nanossistemas com maior aceitação clínica e regulatória.

4.2 Nanopartículas Poliméricas:

As nanopartículas poliméricas, produzidas a partir de polímeros biodegradáveis como PLGA, são amplamente utilizadas para liberação controlada. Fonseca et al. (2018) demonstram que esses sistemas prolongam o tempo de circulação plasmática e reduzem a degradação metabólica precoce. Silva e Lima (2018) ressaltam que a incorporação de fármacos pouco solúveis nesses nanocarreadores melhora significativamente sua biodisponibilidade. Para Mello, Freire, Santos e Nicolai, esse tipo de sistema representa um dos principais pilares da nanotecnologia aplicada à Química Farmacêutica devido à sua segurança, versatilidade e potencial clínico.

4.3 Dendrímeros:

Dendrímeros são macromoléculas altamente ramificadas e simétricas. Segundo Tewari et al. (2018), permitem múltiplas conjugações simultâneas com fármacos, moléculas-alvo e agentes de diagnóstico. Peer et al. (2007) reforçam que os dendrímeros apresentam grande potencial para terapias combinadas, especialmente em oncologia. Mello et al. apontam que essa estrutura multivalente favorece a medicina personalizada, permitindo terapias direcionadas com menor risco de efeitos adversos.

4.4 Nanotubos de Carbono e Quantum Dots:

Nanotubos de carbono e quantum dots apresentam propriedades ópticas e elétricas únicas, sendo investigados para diagnóstico avançado e bioimagem. Jiang et al. (2020) destacam seu uso em sistemas de detecção sensível de células tumorais, enquanto Lammers et al. (2020) e Ferreira et al. (2021) explicam que

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

esses materiais podem ser integrados a plataformas digitais e sensores multiplexados. Contudo, Santos et al. (2020) e Krammer (2020) alertam que questões de toxicidade ainda limitam sua aplicação clínica direta. Mello, Freire, Santos e Nicolai também reforçam que a biocompatibilidade desses materiais permanece um desafio central para sua consolidação em escala comercial.

Segundo Sahoo e Labhasetwar (2003), a nanotecnologia farmacêutica possibilita maior seletividade, menor dose necessária e redução expressiva dos efeitos colaterais. Esse entendimento converge com Ferrari (2005), que aponta a nanotecnologia como um divisor de águas nas terapias de alta complexidade, e com o que Mello et al. observam ao enfatizar que a integração entre nanossistemas e fármacos representa uma transição do modelo terapêutico tradicional para uma abordagem mais precisa e eficiente

5. Aplicações da Nanotecnologia na Química Farmacêutica:

A nanotecnologia tem assumido um papel central no desenvolvimento de novas estratégias terapêuticas, oferecendo abordagens inovadoras para otimizar a farmacocinética, a farmacodinâmica e o perfil de segurança de diferentes classes de medicamentos. A seguir, são apresentadas as principais áreas de aplicação no campo da Química Farmacêutica, evidenciando os avanços e potencialidades descritos na literatura.

5.1 Liberação Controlada de Fármacos:

Os sistemas nanoestruturados voltados para a liberação controlada constituem uma das áreas mais consolidadas da nanotecnologia farmacêutica. Segundo Fonseca et al. (2018), nanopartículas poliméricas, lipossomas e nanocarreadores híbridos permitem modular a liberação de substâncias bioativas de forma progressiva, reduzindo flutuações plasmáticas e ampliando a biodisponibilidade. Além disso, esses sistemas podem ser projetados para responder a estímulos específicos — como pH, temperatura ou enzimas locais — o que favorece a liberação seletiva no sítio terapêutico. Essa característica é relevante especialmente para fármacos com toxicidade elevada ou meia-vida curta,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

oferecendo maior segurança e eficácia.

5.2 Oncologia:

A aplicação da nanotecnologia na oncologia representa um dos avanços mais expressivos no campo farmacêutico. Allen e Cullis (2013) demonstram que formulações lipossomais de doxorrubicina apresentam não apenas menor cardiotoxicidade, mas também melhor penetração tumoral devido ao efeito de permeabilidade e retenção aumentada (EPR). Além dos lipossomas, outros nanossistemas — como nanopartículas metálicas, micelas poliméricas e nanogéis — têm sido investigados para promover quimioterapia direcionada, entrega de genes, terapias fotodinâmicas e combinações terapêuticas. De maneira geral, esses sistemas buscam superar limitações tradicionais, como resistência tumoral e baixa seletividade.

5.3 Doenças Infecciosas:

Nanossistemas também têm demonstrado impacto significativo no tratamento de doenças infecciosas. Santos et al. (2020) destacam que nanopartículas podem melhorar a estabilidade de agentes antimicrobianos, aumentar sua penetração intracelular e proporcionar liberação prolongada, fatores que contribuem para maior adesão e menor risco de resistência bacteriana ou parasitária. As aplicações incluem terapias para tuberculose, malária, leishmaniose e infecções virais, além de estratégias que associam nanocarreadores a peptídeos antimicrobianos ou agentes fotossensibilizantes.

5.4 Vacinas:

No campo das vacinas, a nanotecnologia se consolidou especialmente a partir da pandemia de COVID-19. Krammer (2020) explica que as vacinas de mRNA, como a da Pfizer/BioNTech, só foram viabilizadas graças ao encapsulamento do RNA mensageiro em nanopartículas lipídicas, que protegem o material genético, facilitam sua entrada nas células e reduzem a degradação. Além disso, a nanotecnologia possibilita o desenvolvimento de vacinas mais estáveis,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

com menor necessidade de adjuvantes e com capacidade de modular respostas imunológicas específicas.

5.5 Nanossensores:

Dispositivos nanoestruturados vêm ampliando o alcance dos métodos diagnósticos. Jiang et al. (2020) descrevem que nanossensores baseados em quantum dots, nanotubos de carbono ou nanopartículas metálicas apresentam alta sensibilidade, rapidez e possibilidade de miniaturização. Na prática clínica, esses sistemas têm sido explorados para detecção precoce de biomarcadores, identificação de infecções, monitoramento terapêutico e suporte à medicina personalizada. A integração de nanossensores com plataformas digitais representa uma perspectiva promissora para diagnósticos em tempo real.

5.6 Formulações Transdérmicas e Mucosas:

O uso de nanopartículas em formulações transdérmicas e mucosas tem ampliado as alternativas de administração farmacêutica. Tewari et al. (2018) demonstram que nanocarreadores podem aumentar a permeabilidade cutânea e mucosa, superar barreiras fisiológicas e promover absorção mais eficiente. Tais estratégias beneficiam fármacos que sofrem intensa metabolização de primeira passagem ou que apresentam baixa solubilidade. Além disso, formulações nanoestruturadas para vias nasal, ocular e oral transmucosa têm se mostrado promissoras por permitirem ação rápida, menor dose e maior conforto ao paciente

6. Resultados e Discussão:

Os avanços proporcionados pela nanotecnologia na Química Farmacêutica são expressivos, mas precisam ser analisados de forma crítica. A promessa de maior seletividade, melhor biodisponibilidade e redução de efeitos adversos é amplamente documentada (PEER et al., 2007; BHUSHAN, 2017), contudo, a transição da pesquisa laboratorial para a aplicação clínica ainda encontra obstáculos significativos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

Um dos principais desafios refere-se à toxicidade e biocompatibilidade dos nanomateriais. Embora lipossomas e nanopartículas poliméricas apresentem perfis de segurança mais bem estabelecidos, estruturas como nanotubos de carbono e quantum dots ainda geram preocupações devido ao potencial de acumulação tecidual e indução de estresse oxidativo (JIANG et al., 2020). A ausência de estudos longitudinais em larga escala limita conclusões definitivas sobre os efeitos a longo prazo desses sistemas.

Outro ponto crítico é a escalabilidade da produção. Apesar de demonstrarem eficácia em nível experimental, muitos nanossistemas falham em atingir a etapa de produção industrial com custos viáveis. Isso se deve à complexidade dos métodos de síntese, à necessidade de equipamentos de alta precisão e ao controle rigoroso de qualidade, fatores que dificultam a padronização entre diferentes lotes (LAMMERS et al., 2020).

A regulamentação também é um entrave. Embora países como Estados Unidos e União Europeia já possuam diretrizes mais consolidadas, no Brasil a ANVISA ainda está em fase de adaptação para lidar com especificidades nanotecnológicas. A ausência de normas claras quanto a rotulagem, avaliação toxicológica e ensaios clínicos cria insegurança tanto para pesquisadores quanto para a indústria (ANVISA, 2022). A comparação entre os marcos regulatórios internacionais poderia ser útil para acelerar esse processo nacional.

Do ponto de vista clínico, ainda existe uma discrepância entre expectativas e resultados. Enquanto as vacinas de RNA mensageiro encapsuladas em nanopartículas lipídicas marcaram um divisor de águas na farmacoterapia moderna (KRAMMER, 2020), outros produtos nanotecnológicos não obtiveram o mesmo sucesso. Há exemplos de terapias que, apesar de promissoras em fase pré-clínica, não atingiram eficácia superior em ensaios clínicos de fase III, mostrando que nem todo avanço tecnológico se traduz automaticamente em benefício clínico significativo.

Por outro lado, o potencial da nanotecnologia para medicina personalizada é inegável. O uso de nanossensores para diagnósticos precoces e de sistemas inteligentes de liberação de fármacos pode reduzir falhas terapêuticas e otimizar a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

relação custo-benefício dos tratamentos. Essa integração com a medicina de 6

precisão, associada às tendências da Indústria 4.0, aponta para um futuro em que a nanotecnologia será parte estruturante do cuidado em saúde (FERREIRA et al., 2021).

Assim, a nanotecnologia aplicada à Química Farmacêutica deve ser compreendida como um campo em construção: repleto de potencial disruptivo, mas que exige cautela, regulamentação adequada e mais evidências de eficácia clínica e segurança em longo prazo.

7. Conclusão:

A nanotecnologia aplicada à Química Farmacêutica representa um marco no desenvolvimento de novos fármacos e sistemas de liberação controlada, oferecendo soluções para problemas históricos como baixa biodisponibilidade, baixa seletividade e efeitos adversos significativos. Evidências recentes comprovam seu impacto em áreas estratégicas como oncologia, doenças infecciosas e vacinas, sendo as formulações baseadas em nanopartículas lipídicas um exemplo concreto de sucesso clínico.

Entretanto, é fundamental reconhecer que o campo ainda enfrenta desafios substanciais. A toxicidade de certos nanomateriais, as dificuldades de padronização e a falta de escalabilidade dos processos de produção limitam a transição da pesquisa básica para a prática clínica. Além disso, o cenário regulatório — especialmente no Brasil — permanece em adaptação, o que pode atrasar a introdução segura e eficiente de produtos nanotecnológicos no mercado.

Essas limitações mostram que a nanotecnologia não deve ser vista como uma solução universal, mas sim como um recurso em evolução que requer avaliação crítica, regulamentação robusta e maior produção de evidências clínicas.

Ainda assim, as perspectivas são promissoras. O avanço da medicina personalizada, associado à integração da nanotecnologia com biotecnologia e inteligência artificial, sugere que, no futuro, terapias mais eficazes e individualizadas poderão se tornar realidade. Para isso, é necessário investir em

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

pesquisa translacional, políticas públicas de incentivo e marcos regulatórios claros que favoreçam tanto a inovação quanto a segurança do paciente.

Assim, a nanotecnologia aplicada à Química Farmacêutica deve ser compreendida não apenas como uma revolução tecnológica, mas como um campo em constante construção, cujo sucesso dependerá do equilíbrio entre inovação científica, viabilidade industrial e responsabilidade ética.

8. Referências:

ALLEN, T. M.; CULLIS, P. R. Liposomal drug delivery systems: *From concept to clinical applications. Advanced Drug Delivery Reviews, v. 65, n. 1, p. 36-48, 2013.*

ANVISA. Relatório de Nanotecnologia e Regulação no Brasil. Brasília: *ANVISA, 2022.*

BHUSHAN, B. Springer Handbook of Nanotechnology. 4. ed. Berlin: *Springer, 2017.*

FERRARI, M. Cancer nanotechnology: Opportunities and challenges. *Nature Reviews Cancer, v. 5, n. 3, p. 161-171, 2005.*

FERREIRA, L. S. et al. Nanotecnologia e indústria farmacêutica: *tendências e perspectivas. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, v. 57, n. 2, p. 88-96, 2021.*

FONSECA, C. et al. Polymeric nanoparticles for drug delivery: *Current developments and future directions. Journal of Biomedical Nanotechnology, v. 14, n. 1, p. 1-19, 2018.*

JIANG, W. et al. Nanoparticle-mediated cellular responses: *Implications for cancer therapy. Nano Today, v. 35, p. 100937, 2020.*

KRAMMER, F. SARS-CoV-2 vaccines in development. Nature, v. 586, n. 7830, p. 516-527, 2020.

LAMMERS, T. et al. Nanomedicine for precision medicine: *Current state and future perspectives. ACS Nano, v. 14, n. 2, p. 1312-1341, 2020.*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/10/2025 - **Accepted:** 10/11/2025
Vol: 20.2
DOI: 10.61164/hv1ceb36
Pages: 1-13

PEER, D. et al. *Nanocarriers as an emerging platform for cancer therapy. Nature Nanotechnology, v. 2, p. 751-760, 2007.*

SANTOS, D. S. et al. *Nanotechnology-based drug delivery systems against infectious diseases. Journal of Controlled Release, v. 322, p. 303-316, 2020.*

SAHOO, S. K.; LABHASETWAR*, V. Nanotech approaches to drug delivery and imaging. Drug Discovery Today, v. 8, n. 24, p. 1112-1120, 2003.*

SILVA, A. C.; LIMA, B. S. Desafios na biodisponibilidade de fármacos e alternativas nanotecnológicas*. Revista Brasileira de Farmácia Hospitalar, v. 9, n. 2, p. 44-51, 2018.*

TEWARI, R. et al. Dendrimers in drug delivery: *A review of current progress. International Journal of Pharmaceutics, v. 548, n. 1, p. 707-720, 2018.*

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Global report on nanotechnology and health. Geneva: WHO, 2021.*