REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

NANOTECNOLOGIA: APLICAÇÕES DE NOVOS MATERIAIS EM ESCALA NANOMÉTRICA NA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS AMBIENTAIS E DE SAÚDE

NANOTECHNOLOGY: APPLICATIONS OF NEW MATERIALS ON A NANOMETRIC SCALE IN SOLVING ENVIRONMENTAL AND HEALTH PROBLEMS

Ciências Exatas e da Terra • 25/01/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/1772436473

Francisco José Mininel[1]

Silvana Márcia Ximenes Mininel[2]

RESUMO

A nanotecnologia tem se destacado como uma das áreas mais promissoras da ciência contemporânea, especialmente por possibilitar o desenvolvimento de materiais com propriedades inovadoras em escala nanométrica. Esses materiais apresentam características físicas, químicas e biológicas diferenciadas, capazes de oferecer soluções eficazes para desafios ambientais e de saúde pública. O presente artigo tem como objetivo discutir como os novos materiais nanotecnológicos estão sendo aplicados na mitigação de impactos ambientais e no avanço de diagnósticos e tratamentos médicos. Por meio de uma revisão bibliográfica, analisam-se aplicações como a remediação de ambientes contaminados, o tratamento de água, a liberação controlada de fármacos e o desenvolvimento de biossensores. Conclui-se que a nanotecnologia representa um importante aliado para o desenvolvimento sustentável e para a melhoria da qualidade de vida, embora ainda existam desafios relacionados à segurança e à regulamentação de seu uso.

Palavras-chave: Nanotecnologia. Nanomateriais. Meio ambiente. Saúde.

ABSTRACT

Nanotechnology has emerged as one of the most promising areas of contemporary science, especially for enabling the development of materials with innovative properties on a nanometric scale. These materials exhibit differentiated physical, chemical, and biological characteristics, capable of offering effective solutions to environmental and public health challenges. This article aims to discuss how new nanotechnological materials are being applied to mitigate environmental impacts and advance medical diagnoses and treatments. Through a literature review, applications such as the

remediation of contaminated environments, water treatment, controlled drug release, and the development of biosensors are analyzed. It is concluded that nanotechnology represents an important ally for sustainable development and for improving the quality of life, although challenges related to the safety and regulation of its use still exist.
Keywords: Nanotechnology. Nanomaterials. Environment. Health.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o avanço industrial intensificaram problemas ambientais e de saúde pública, exigindo soluções tecnológicas inovadoras e sustentáveis. Nesse contexto, a nanotecnologia surge como uma área multidisciplinar que envolve Física, Química, Biologia e Engenharia, permitindo a manipulação de materiais em escala entre 1 e 100 nanômetros (nm) (ROCO, 2003).

Segundo Bhushan (2017), materiais nessa escala apresentam propriedades únicas, como maior área superficial e elevada reatividade, o que amplia suas aplicações em diferentes setores. Na área ambiental, a nanotecnologia tem sido empregada no tratamento de efluentes e na descontaminação de solos. Na saúde, destaca-se no desenvolvimento de novos métodos de diagnóstico e terapias mais eficientes.

Os nanomateriais são materiais projetados com dimensões na escala de nanômetros, o que confere a eles propriedades únicas e superiores em comparação com seus equivalentes convencionais. Na indústria química, os nanomateriais estão revolucionando o desenvolvimento de produtos e processos de várias maneiras.

Na Química, por razões óbvias, esse tipo de abordagem pode ser considerado intrínseco, se encarado sob o ponto de vista da Nanociência. De fato, átomos e moléculas são a essência da Química; contudo, apesar disso, a visão nanotecnológica, capaz de transformar os sistemas moleculares em nanodispositivos ou nanomáquinas, ainda é uma importante questão a ser trabalhada (TOMA, 2004).

Na Tabela 1, encontramos um resumo das principais aplicações da nanotecnologia no setor produtivo e de saúde. São temas sugestivos para atuação das Redes Cooperativas de Nanotecnologia e Institutos do Milênio no Brasil, e para estimular a participação dos químicos, visto que todos eles têm forte conotação química.

Tabela 1. Principais aplicações da Nanotecnologia.

APLICAÇÕES	IMPORTÂNCIA
1) *Produção, armazenagem e conversão de energia*	Nesse item, os exemplos são inúmeros: células fotovoltaicas e fotoeletroquímicas, dispositivos orgânicos emissores de luz (OLEDs), aplicações de nanotubos de carbono em células solares, nanocatalisadores para produção de hidrogênio, células a combustível, nanomateriais para armazenagem de hidrogênio.
2) *Aumento da produtividade agrícola*	Desenvolvimento de zeólitas nanoporosas para liberação lenta e controlada de água, fertilizantes e agrodefensivos; nanocápsulas liberadoras de herbicidas; nanossensores para monitoração do solo e do desenvolvimento das plantas e, nanopartículas magnéticas para combater a contaminação do solo.
3) *Remediação e tratamento da água*	Por ex., nanomembranas para purificação de água, desalinização e desintoxicação; nanossensores para detecção de contaminantes e agentes patogênicos; zeólitas nanoporosas, polímeros nanoestruturados e

	argilas para purificação de água; nanopartículas magnéticas para tratamento de água; nanopartículas de TiO2 para degradação fotocatalítica de poluentes.
4) *Mapeamento e diagnóstico de doenças*	“Lab-on-achip”; “arrays” de nanossensores, nanopartículas magnéticas e “quantum-dots” para diagnóstico clínico; complexos dendrímero-anticorpos para diagnóstico de HIV-1 e câncer; nanofios e nanofitas para diagnóstico de doenças; nanopartículas como intensificadores de imagem computadorizada.
5) *Sistemas para liberação de drogas*	Nanocápsulas, lipossomos, dendrímeros, nanoesferas, nanopartículas magnéticas, atapulgitas (argila) para liberação lenta e controlada de drogas.
6) *Armazenagem e processamento de alimentos*	Por ex., nanocompósitos para embalagens; nanoemulsões antibacterianas para descontaminação de alimentos, equipamentos e embalagens; nanossensores e biossensores para monitoração da qualidade de alimentos.
7) *Controle e remediação dos efeitos da poluição do ar*	Vidros auto-limpantes baseados em nanopartículas de TiO_2; nanocatalisadores mais eficientes e baratos para conversão catalítica em escapamentos automotivos; nanossensores para detecção de agentes tóxicos e vazamentos; nanodispositivos para separação de gases.
8) *Construção*	Nanoestruturas moleculares para reforço do asfalto e concreto; nanomateriais resistentes a calor e bloqueadores de ultravioleta e infravermelho; nanomateriais para barateamento e durabilidade de construções; superfícies e coberturas auto-limpantes ou bioativas.
9) Monitoração da saúde	Por ex., sensores para glucose, CO_2, colesterol; sensores para monitoração homeostática *in situ*.
10) *Detecção e controle de pragas e seus vetores*	Por ex., nanossensores para detecção de pragas, nanopartículas transportadoras ou liberadoras de pesticidas, inseticidas, ou de ação repelente.

Fonte: TOMA, 2005.

Dessa forma, este artigo tem como objetivo discutir as principais aplicações da nanotecnologia na solução de problemas ambientais e de saúde, analisando suas contribuições, benefícios e desafios a partir da literatura científica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Conceitos e Princípios da Nanotecnologia

A nanotecnologia refere-se ao controle e à reestruturação da matéria em nível atômico e molecular, permitindo a criação de materiais com propriedades mecânicas, elétricas e ópticas superiores às dos materiais convencionais (FARIAS; SANTOS, 2018). De acordo com Roco (2003), essas propriedades emergem devido aos efeitos quânticos e ao aumento da razão entre área superficial e volume.

Os nanomateriais podem ser classificados em nanopartículas, nanotubos, nanofibras e nanocompósitos, cada um com aplicações específicas em diferentes áreas do conhecimento.

As **nanopartículas** são estruturas com dimensões nanométricas em todas as direções e podem ser constituídas por metais, óxidos metálicos, polímeros ou materiais cerâmicos. Devido à elevada área superficial e à possibilidade de funcionalização química, as nanopartículas têm ampla aplicação em sistemas de liberação controlada de fármacos, diagnósticos médicos, catálise e remediação ambiental. Na área da saúde, por exemplo, nanopartículas magnéticas e lipídicas têm sido exploradas para o transporte direcionado de medicamentos e agentes terapêuticos,

aumentando a eficácia dos tratamentos e reduzindo efeitos colaterais (BHUSHAN, 2010).

Os **nanotubos**, especialmente os nanotubos de carbono, caracterizam-se por sua estrutura cilíndrica oca e elevada razão comprimento-diâmetro. Esses materiais apresentam propriedades mecânicas excepcionais, alta condutividade elétrica e térmica, tornando-os promissores para aplicações em nanoeletrônica, sensores, reforço de materiais compósitos e dispositivos de armazenamento de energia. Além disso, pesquisas recentes indicam o potencial uso de nanotubos em sistemas biomédicos, como suportes para engenharia de tecidos e vetores para transporte molecular (CALLISTER & RETHWISCH, 2010).

As **nanofibras** são estruturas unidimensionais com diâmetro nanométrico e comprimento significativamente maior, frequentemente produzidas por técnicas como eletrofiação. Elas se destacam pela elevada porosidade e área superficial, sendo amplamente utilizadas em filtros, membranas, curativos avançados e scaffolds para engenharia de tecidos. No campo ambiental, nanofibras poliméricas têm sido empregadas no tratamento de águas e na retenção de poluentes (DURÁN; MATTOSO & MORAIS, 2006).

Por sua vez, os **nanocompósitos** consistem na combinação de uma matriz (polimérica, metálica ou cerâmica) com reforços nanométricos, como nanopartículas ou nanofibras. A incorporação desses nanomateriais resulta em melhorias significativas nas propriedades mecânicas, térmicas, elétricas e de barreira dos materiais convencionais. Dessa forma, os nanocompósitos têm aplicações relevantes na indústria automotiva, aeroespacial,

embalagens, construção civil e dispositivos eletrônicos (GECKELER & ROSENBERG, 2010).

Em síntese, a classificação dos nanomateriais em nanopartículas, nanotubos, nanofibras e nanocompósitos permite compreender melhor suas propriedades e potencialidades, evidenciando o papel estratégico da nanotecnologia no avanço científico e tecnológico contemporâneo. Contudo, apesar dos inúmeros benefícios, é fundamental que o desenvolvimento e a aplicação desses materiais sejam acompanhados de estudos sobre seus impactos ambientais e toxicológicos, garantindo o uso seguro e sustentável da nanotecnologia (BHUSHAN, 2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Aplicações Ambientais da Nanotecnologia

No campo ambiental, a nanotecnologia tem se mostrado eficaz na remediação de ambientes contaminados. Nanopartículas de óxidos metálicos, como óxido de ferro e dióxido de titânio, são utilizadas para remover metais pesados e compostos orgânicos tóxicos da água e do solo (QUINA, 2008).

A aplicação de nanomateriais nesse contexto baseia-se principalmente em suas propriedades físico-químicas diferenciadas, como elevada área superficial, alta reatividade e capacidade de adsorção, que potencializam os processos de remoção e degradação de contaminantes (QUINA, 2008).

Entre os nanomateriais mais utilizados em processos de remediação ambiental, destacam-se as **nanopartículas de óxidos metálicos**, como o óxido de ferro (Fe_3O_4, Fe_2O_3) e o dióxido de titânio (TiO_2). As

nanopartículas de óxido de ferro são amplamente empregadas na remoção de metais pesados — como arsênio, chumbo, cádmio e cromo — devido à sua elevada afinidade por esses elementos e à possibilidade de recuperação magnética após o tratamento, o que reduz impactos secundários ao ambiente (QUINA, 2008; DURÁN; MATTOSO; MORAIS, 2006).

O dióxido de titânio, por sua vez, é amplamente reconhecido por sua atividade fotocatalítica. Quando exposto à radiação ultravioleta ou visível, esse nanomaterial é capaz de gerar espécies reativas, como radicais hidroxila, que promovem a degradação de compostos orgânicos tóxicos, incluindo pesticidas, corantes industriais e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (BHUSHAN, 2010). Esse mecanismo torna o TiO_2 particularmente eficaz no tratamento de efluentes industriais e águas contaminadas.

Além da eficiência na remoção de contaminantes, a nanotecnologia aplicada à remediação ambiental apresenta vantagens como menor tempo de tratamento, redução do uso de reagentes químicos convencionais e maior seletividade nos processos de adsorção e degradação (CALLISTER; RETHWISCH, 2016). No entanto, apesar dos benefícios observados, estudos recentes ressaltam a necessidade de avaliar os possíveis impactos ecotoxicológicos associados à liberação de nanopartículas no ambiente, a fim de garantir a segurança e a sustentabilidade dessas tecnologias (QUINA, 2008).

Dessa forma, a nanotecnologia configura-se como uma ferramenta promissora para a remediação ambiental, contribuindo significativamente para a mitigação de impactos causados pela contaminação de solos e águas, desde que seu uso seja

acompanhado por rigorosos estudos ambientais e regulamentações adequadas.

3.2. Aplicações da Nanotecnologia na Saúde

O mundo atualmente enfrenta problemas sérios de resistência bacteriana a antibióticos e surgimento de novos vírus patogênicos. Nesse contexto, pesquisas tem se voltado à utilização de produtos naturais como suco de frutas e extratos de plantas para a biossíntese de nanopartículas com potencial antimicrobiano, antiviral e anti-câncer. Assim sendo, as nanopartículas metálicas têm despertado grande interesse devido à sua grande área de superfície de contato, alta condutividade, melhor natureza química e distintas propriedades (NAIKOO et al.; 2021).

As nanopartículas de prata (Ag) são entidades promissoras para aumentar a ação de antígenos virais por meio do avanço da imunidade celular e por possuírem um mecanismo de ação multialvo, assim como apresentam também propriedade antiviral comprovada contra o vírus HIV, da hepatite B, herpes simples tipo 1, Chikungunya e influenza. Essas nanopartículas de Ag têm cativado a atenção dos pesquisadores devido às suas propriedades únicas, como elevadas condutividades elétrica e térmica, alta atividade catalítica, estabilidade química e sua alta atividade antimicrobiana, em comparação com os outros metais nobres. As exceções das propriedades tradicionais das nanopartículas de Ag as tornam únicas para a terapêutica do câncer, com toxicidade sistemática mínima. Atualmente, vários pesquisadores estão trabalhando nessa área terapêutica baseada nas nanopartículas bioinspiradas com objetivo de empregar a atividade anticancerígena dessa nanopartícula.

Já as nanopartículas de ouro (AuNPs-As) sintetizadas usando extrato de alho apresentam atividade antiviral comprovada contra o vírus do sarampo. Dentro da área acadêmica, foi proposta uma explicação para o mecanismo de ação antiviral das nanopartículas de ouro, que agem prevenindo a replicação do material genético viral na célula vegetal, independentemente do tipo de ácido nucleico, a partir da ligação à partícula do vírus. A Figura 1 ilustra uma representação da influência virucida das nanopartículas de ouro no vírus do sarampo.

Assim sendo, a propriedade antiviral das nanopartículas é devida às suas características biofísico-químicas que protegem os antígenos da degradação, transportando-os em células imunitárias introdutoras de antígenos ao sistema de defesa e em partes subcelulares de interesse. Existem também as nanopartículas de ZnO que, devido à sua excepcional propriedade semicondutora e natureza biocompatível, são amplamente usadas em resistores de microfone, catalisadores, sensores de gás, dispositivos fotônicos e em aplicações biomédicas como biossensores e sistemas de liberação de fármacos. Vários estudos descreveram a síntese dessas nanopartículas usando extratos da planta *Rhamnus virgata* e *Mentha spicata* (NAIKOO et al.; 2021).

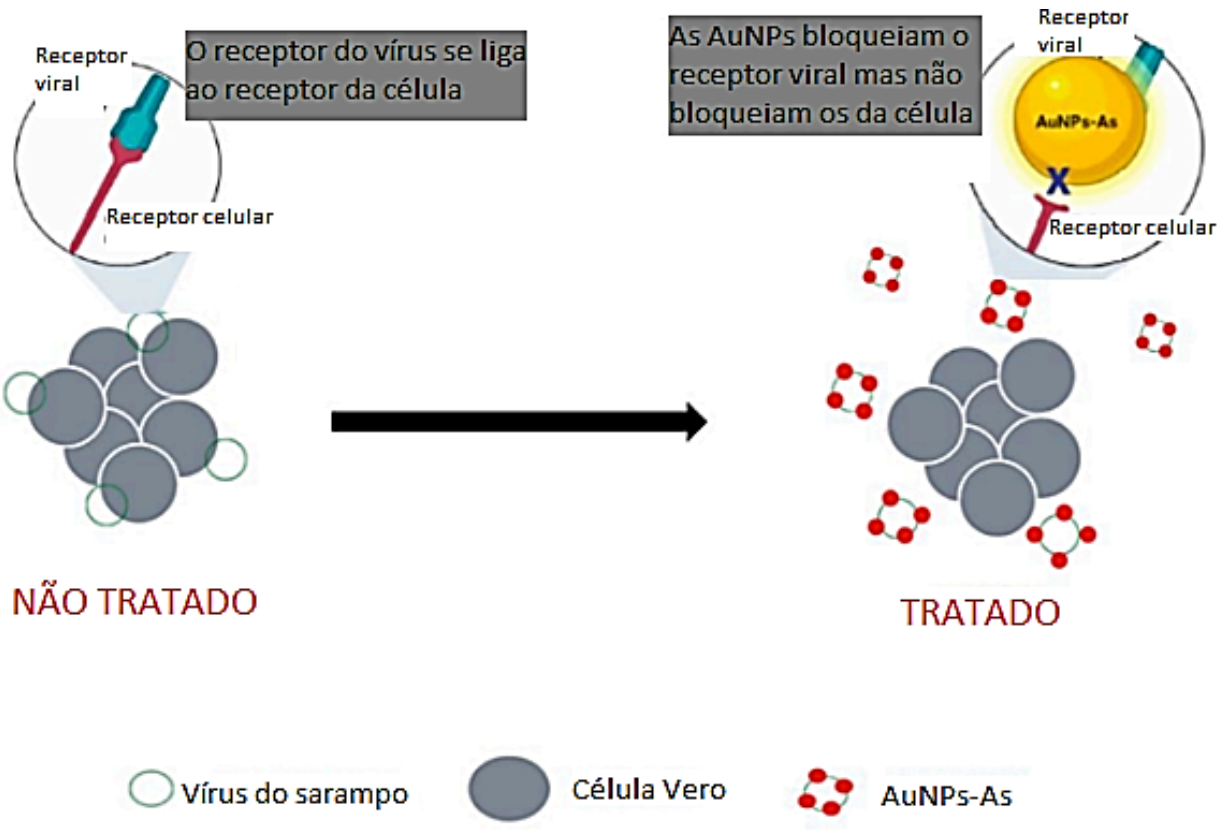

Figura 1. Representação da influência virucida das nanopartículas de ouro no vírus do sarampo.

Fonte: Adaptado de NAIKOO *et al.*, 2021.

Os organismos e produtos naturais citados anteriormente possuem átomos de hidrogênio abundante e, por isso, são mais vantajosos para a síntese de nanopartículas de metais quando comparados aos métodos químicos de síntese, em termos de biocompatibilidade, baixo custo de produção, tolerabilidade, diversidade e reprodutibilidade. Além disso, o uso do extrato vegetal como reagente permite a síntese de nanopartículas com maior pureza. Ademais, essa abordagem não utiliza solventes, precursores e aditivos redutores tóxicos ou não degradáveis. O mecanismo de produção dessas partículas nanométricas bioinspiradas chama-se bottom-up. Ele alia rotas químicas e biológicas objetivando a auto-montagem de átomos para iniciar novos núcleos, que crescem em partículas nanométricas. A Figura 2 apresenta uma estratégia geral usada para a síntese de nanopartículas verdes.

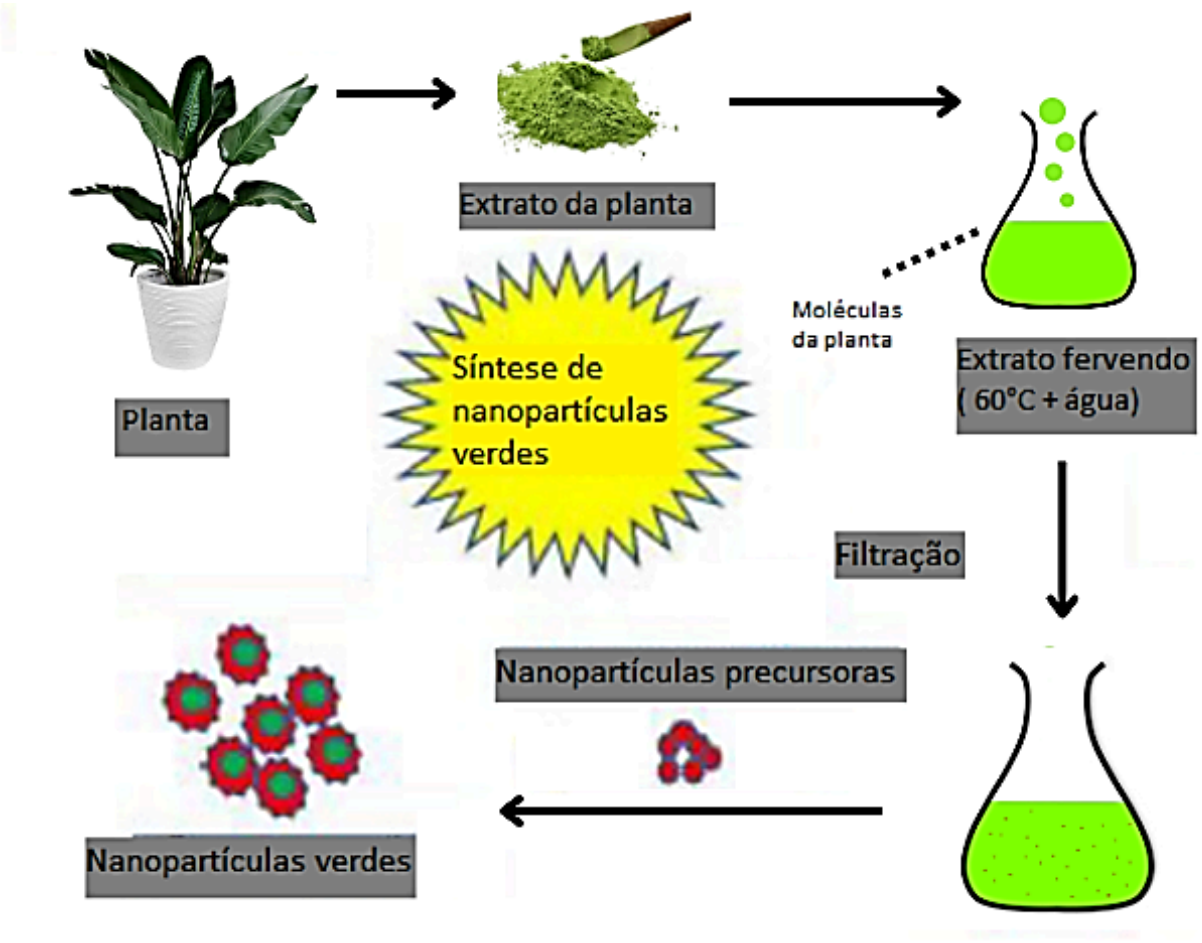

Figura 2. Possível estratégia de síntese típica de nanopartículas verdes.

Fonte: Adaptado de NAIKOO *et al.*, 2021

Para cumprir a função de reservatório de medicamentos, o grupo da UFF (Universidade Federal Fluminense) sintetizou nanopartículas esféricas de sílica mesoporosa de cerca de 85 nm de diâmetro (SANTOS et al.; 2020). Além de ser biocompatível, esse material tem a particularidade de ter uma estrutura interna similar a um favo de mel, com um conjunto de nanocanais de até 4 nm de diâmetro, nos quais as moléculas do fármaco podem ser armazenadas. As nanopartículas foram recobertas com grupos carboxil (- COOH) que melhoraram a interação do reservatório com a sua tampa. Para a tampa, os pesquisadores escolheram o pilarareno, uma molécula artificial formada por cinco anéis aromáticos ou arenos, cuja primeira síntese data de 2008 na literatura científica.

Na montagem e operação da nanomáquina, as interações eletrostáticas de atração controladas pelo pH do meio foram as

grandes aliadas da equipe científica da UFF. De fato, conforme confirmaram os pesquisadores em seus experimentos, em uma solução com pH de 7,4, que representa a acidez do sangue saudável, os grupos carboxil (-COOH) que recobrem o reservatório perdem um próton formando grupos carboxilato (-COO-), negativamente carregados, os quais interagem eletrostaticamente com a tampa positivamente carregada. Dessa maneira, a atração eletrostática aproxima as duas peças da nanomáquina até impedir a saída do fármaco. Ao diminuir o pH, ou seja, ao tornar a solução mais ácida, os grupos carboxilato (-COO-) ganham prótons, neutralizando sua carga. Em consequência, a atração eletrostática entre a tampa e o reservatório se desfaz, a tampa abre e o fármaco é liberado (Figura 3). Nos experimentos realizados, o grupo da UFF conseguiu liberar a droga quimioterápica parcialmente (34%) em um pH de 5,5 (provavelmente similar ao do entorno de células cancerosas) e quase totalmente (91%) em um meio com acidez de 2,0. Todos os experimentos foram realizados a uma temperatura de 37 °C, similar à do corpo humano (SANTOS et al.; 2020).

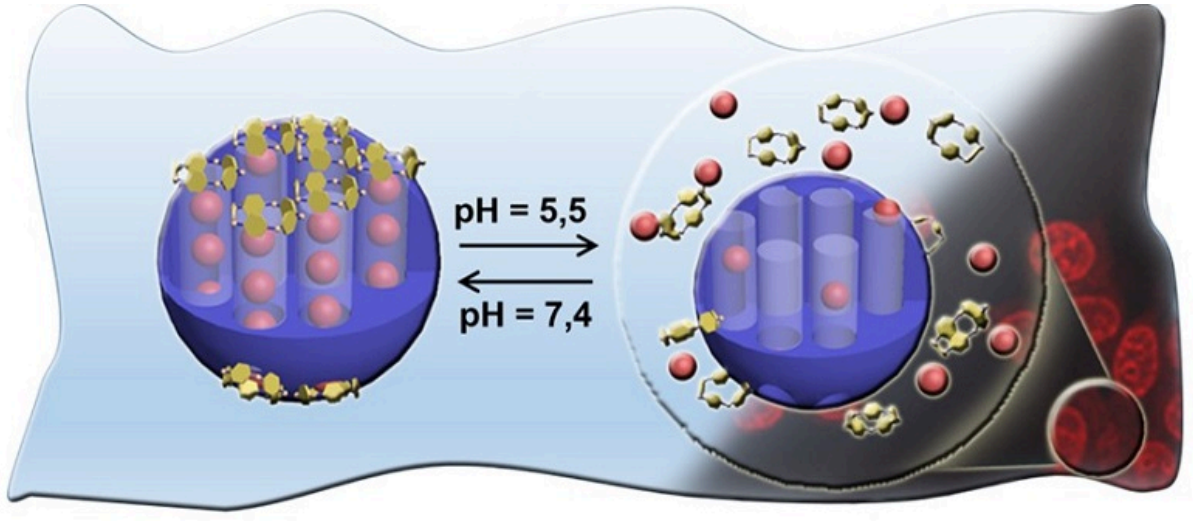

Figura 3. Funcionamento da nanomáquina carregada com o fármaco (bolinhas cor de rosa). À esquerda, em pH fisiológico, as tampas fecham os nanocanais do reservatório. À direita, o meio mais ácido gera o afastamento das tampas e o fármaco é liberado.
Fonte: SANTOS et al.; 2020.

O professor Elson Longo (CDMF-UFSCar), sócio fundador e ex-presidente da SBPMat, é autor correspondente de artigo que consta no *Top 100 2018* do periódico *Scientific Reports* na área de Ciência de Materiais (ASSIS et al.; 2018). O trabalho propõe um novo processo para produzir nanocompósitos bactericidas baseados em nanopartículas de prata e materiais semicondutores. O método aumenta 32 vezes a ação bactericida do nanocompósito e, ao mesmo tempo, gera uma nova classe de nanopartículas esféricas (Figura 4).

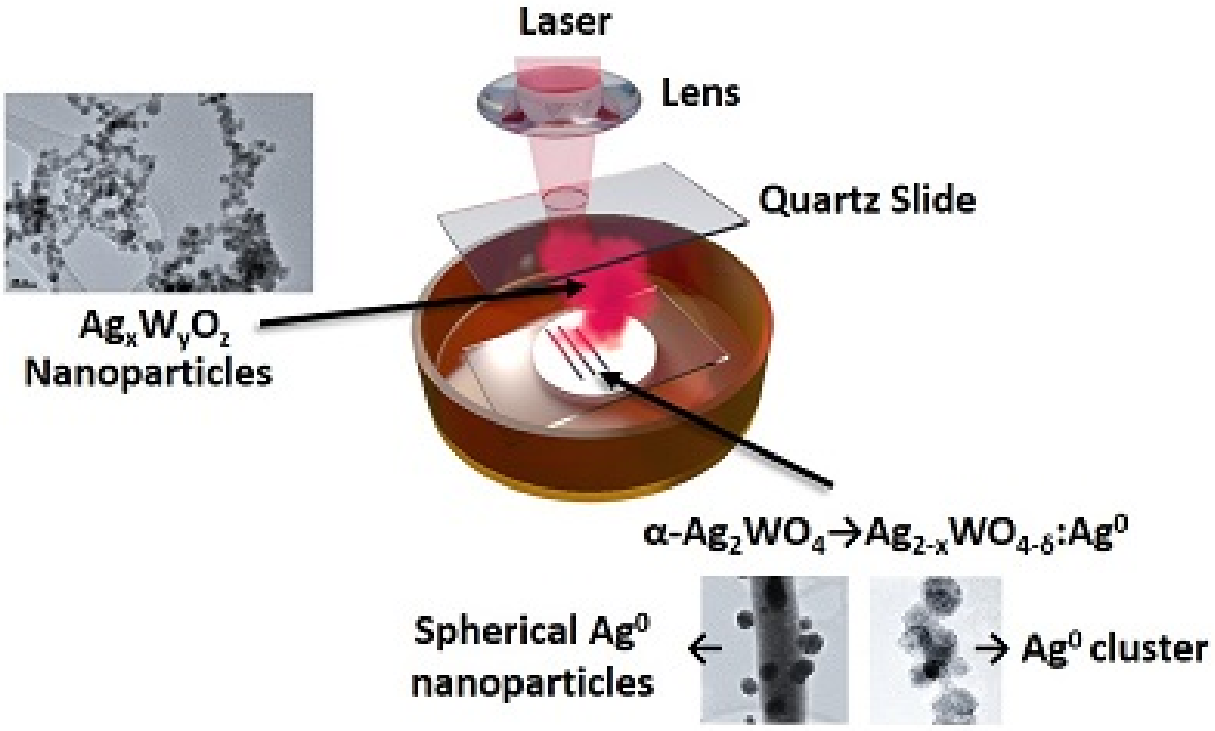

Figura 4. Nanocompósitos bactericidas baseados em nanopartículas de prata e materiais semicondutores.

Fonte: ASSIS, Marcelo et al. (2018).

Os nanocompósitos bactericidas baseados em nanopartículas de prata (AgNPs) associadas a materiais semicondutores atuam por meio de mecanismos físico-químicos e biológicos sinérgicos que resultam na inativação ou morte de microrganismos patogênicos. A elevada eficiência desses sistemas decorre das propriedades únicas das nanopartículas em escala nanométrica e da interação entre os componentes do nanocompósito.

As nanopartículas de prata apresentam reconhecida atividade antimicrobiana, atribuída principalmente à sua alta área superficial e à liberação controlada de íons prata (Ag^+). Esses íons interagem com a membrana celular bacteriana, promovendo alterações na permeabilidade e na integridade estrutural da célula. Como consequência, ocorre o extravasamento de componentes intracelulares essenciais, levando à perda de funções vitais da bactéria (ASSIS et al., 2018).

Além disso, os íons Ag^+ podem penetrar no interior da célula bacteriana e interagir com proteínas e enzimas que contêm grupos sulfidrila (–SH), inibindo processos metabólicos fundamentais, como a respiração celular. A prata também pode se ligar ao material genético (DNA), interferindo nos processos de replicação e transcrição, o que compromete a divisão celular e a sobrevivência do microrganismo.

Quando associadas a materiais semicondutores, como óxidos metálicos (por exemplo, TiO_2, ZnO ou outros), as nanopartículas de prata potencializam sua ação bactericida. Os semicondutores podem atuar como suportes estruturais, promovendo melhor dispersão das AgNPs e aumentando a estabilidade do sistema. Além disso, sob irradiação luminosa adequada, esses materiais semicondutores são capazes de gerar espécies reativas de oxigênio (EROs), como radicais hidroxila (·OH) e ânions superóxido ($O_2{\cdot}^-$) (ASSIS et al., 2018).

As espécies reativas de oxigênio desempenham papel crucial no efeito bactericida, pois causam estresse oxidativo nas células microbianas. Esse estresse resulta na oxidação de lipídios da membrana, desnaturação de proteínas e danos ao DNA, levando à

morte celular. A presença da prata no nanocompósito favorece a separação de cargas eletrônicas no semicondutor, reduzindo a recombinação elétron-lacuna e aumentando a eficiência na geração dessas espécies reativas.

Portanto, o efeito bactericida dos nanocompósitos baseados em nanopartículas de prata e materiais semicondutores ocorre por um mecanismo multifatorial, que envolve danos à membrana celular, inibição metabólica, interferência genética e indução de estresse oxidativo. Essa ação combinada torna esses nanocompósitos altamente eficazes contra uma ampla variedade de bactérias, inclusive cepas resistentes a antibióticos convencionais, conforme destacado por Assis et al. (2018).

Em um estudo totalmente realizado no Brasil, uma equipe de cientistas desenvolveu um novo método, simples e eficiente, para fabricar nanopartículas de óxido de tântalo (Ta_2O_5) com ótimo desempenho como catalisadores na geração de hidrogênio. A pesquisa foi reportada em um artigo recentemente publicado no periódico *Journal of Materials Chemistry A*.

Souza, Scholten e Dupont (2016) prepararam dois tipos de líquidos iônicos contendo tântalo e geraram as condições para que acontecesse a hidrólise (quebra de ligações químicas de um composto por efeito da adição de água). Os elementos resultantes da hidrólise, provenientes da água e do líquido iônico, se recombinaram formando as nanopartículas de óxido de tântalo. As nanopartículas de Ta_2O_5 apresentaram um dos melhores resultados já publicados para a produção de H_2 a partir de uma solução água/etanol". Esse resultado excepcional foi atribuído no artigo à presença de líquido iônico nas nanopartículas. "Acredita-se que o

líquido iônico residual propicie a formação de uma região hidrofílica na superfície do Ta_2O_5 favorecendo a aproximação das moléculas polares (água e etanol)", explica Scholten (Figura . Para terem mais certeza a respeito, os cientistas retiraram o líquido iônico das nanopartículas mediante um tratamento térmico e comprovaram que sua atividade fotocatalítica era muito baixa (SOUZA. et al., 2016).

Desta maneira, este trabalho desenvolvido na região Sul do Brasil apresentou um novo método de fabricação de catalisadores supereficientes para uso na produção de hidrogênio, um combustível alternativo promissor, a partir de água e etanol, dois recursos renováveis e abundantes (Figura 5).

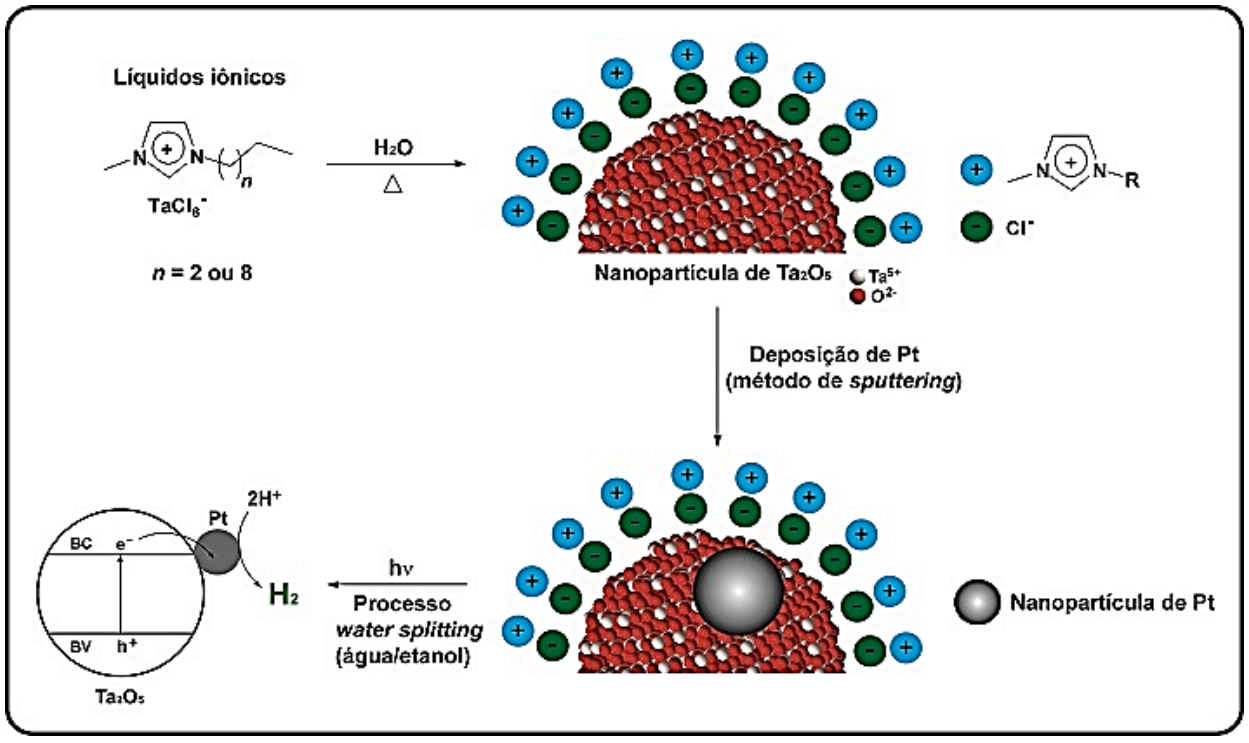

Figura 5. Processo de fabricação de nanopartículas de óxido de tântalo a partir da hidrólise de líquidos iônicos, seguida da deposição de nanopartículas de platina. Fonte: SOUZA et al.; 2016.

3.3. Nanocatalisadores: Eficiência e Sustentabilidade nas Reações Químicas

Os catalisadores desempenham um papel crucial na indústria química, acelerando as reações e aumentando a eficiência dos processos. Com a nanotecnologia, surgem os nanocatalisadores, que operam em uma escala nanométrica e apresentam vantagens significativas sobre os catalisadores tradicionais. Os nanocatalisadores oferecem uma área de superfície significativamente maior em comparação com os catalisadores convencionais. Essa característica aumenta a eficiência das reações químicas, permitindo uma utilização mais eficaz dos reagentes e a produção de produtos com maior pureza. Além disso, os nanocatalisadores podem operar a temperaturas e pressões mais baixas, reduzindo o consumo de energia e os custos operacionais.

Os nanocatalisadores estão sendo aplicados em diversos processos químicos, incluindo:

- **Síntese de Produtos Químicos**: Aumento da velocidade e eficiência na produção de compostos químicos.

- **Refinamento de Petróleo**: Melhoria na eficiência dos processos de craqueamento e refino.

- **Produção de Combustíveis Renováveis**: Otimização da conversão de biomassa em biocombustíveis.

A nanotecnologia tem se destacado como uma das principais aliadas da sustentabilidade na indústria química, oferecendo soluções inovadoras que contribuem significativamente para a redução do impacto ambiental e a melhoria da eficiência dos processos produtivos.

Uma das maneiras mais notáveis pelas quais a nanotecnologia promove a sustentabilidade é através da redução das emissões de gases de efeito estufa. Os nanocatalisadores, por exemplo, permitem que reações químicas ocorram a temperaturas e pressões mais baixas. Isso resulta em menor consumo de energia, o que, por sua vez, leva a uma diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases nocivos. Além disso, a maior eficiência dos nanocatalisadores significa que menos combustível é necessário para realizar as mesmas reações, contribuindo ainda mais para a redução das emissões.

Em um avanço que une sustentabilidade e inovação, pesquisadores da Universidade Técnica de Viena criaram uma tecnologia que permite “plantar” baterias usadas como se fossem sementes, gerando energia limpa a partir de resíduos. A planta de baterias transforma lixo tóxico em combustível renovável (TU WIEN, 2025).

A pesquisa, conduzida na Áustria, explora uma nova forma de reutilizar componentes químicos de baterias descartadas, principalmente níquel e alumínio. Esses materiais, que tradicionalmente representam um risco ambiental, são convertidos em nanocatalisadores altamente eficientes. O método consiste em extrair níquel de baterias Ni-MH (hidreto metálico de níquel) e alumínio de resíduos domésticos, como folhas de alumínio. Esses elementos são combinados para criar um catalisador capaz de transformar CO_2 em metano, uma fonte de energia limpa e renovável. De acordo com a Universidade Técnica de Viena, a inovação permite que essas “plantas” de baterias sejam literalmente enterradas no solo, ativando processos químicos que convertem resíduos em combustível (Figura 6). Assim, o que antes era lixo tóxico, torna-se uma solução energética sustentável (TU WIEN, 2025).

O grande diferencial da tecnologia é o seu impacto positivo no meio ambiente. As baterias, que normalmente seriam descartadas em aterros, passam a ter uma segunda vida útil, evitando a contaminação do solo e da água por metais pesados (TU WIEN, 2025).

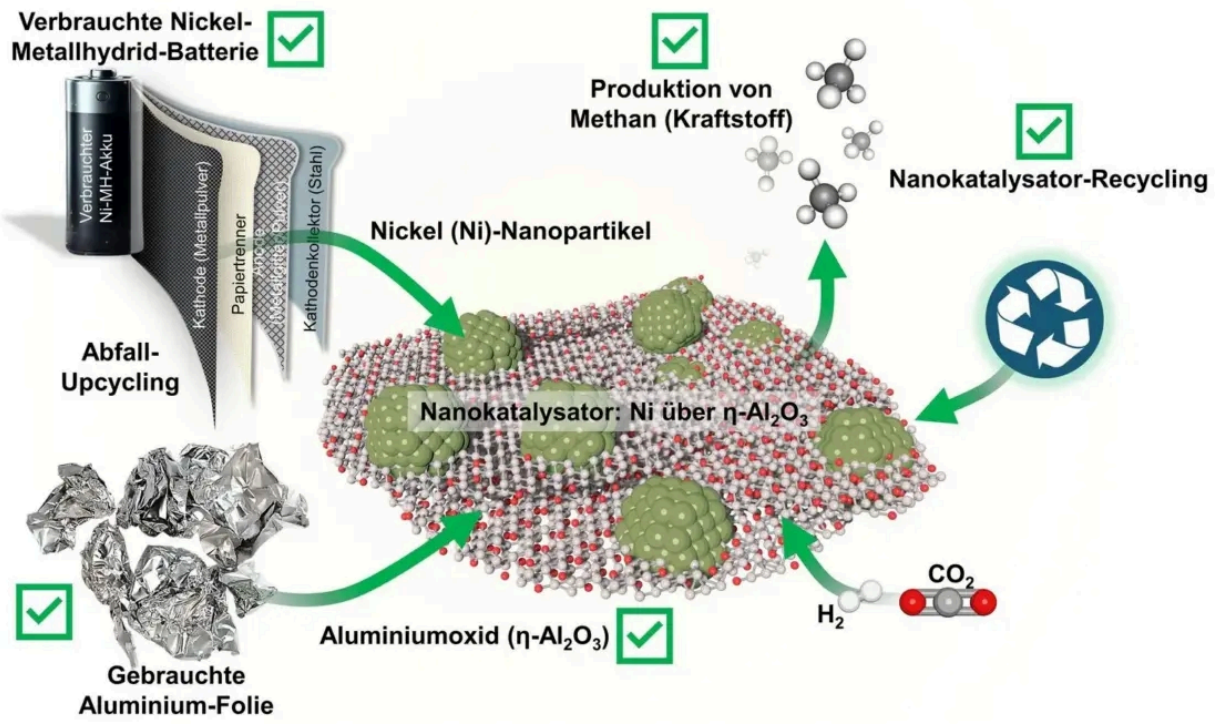

Figura 6. Transformação de resíduos de baterias/alumínio em nanocatalisadores para a produção de metano (combustível) e reciclagem de nanocatalisadores usados em precursores de catalisadores.

Fonte: TU WIEN. **(**2025).

Concluindo, a nanotecnologia é uma área de pesquisa em constante evolução que tem o potencial de revolucionar muitos setores, incluindo a medicina, as energias renováveis e a tecnologia da informação. Com a capacidade de manipular materiais em uma escala nanométrica, a nanotecnologia está permitindo soluções mais eficientes, duráveis e avançadas para uma ampla gama de desafios tecnológicos. Embora a nanotecnologia ainda esteja em seus estágios iniciais de desenvolvimento, as tendências indicam que ela continuará a evoluir rapidamente, oferecendo novas soluções para uma ampla gama de aplicações.

É importante notar que, como toda tecnologia avançada, a nanotecnologia também apresenta desafios, incluindo questões éticas e ambientais. No entanto, com o desenvolvimento de regulamentações adequadas e uma abordagem responsável, a nanotecnologia tem o potencial de mudar o mundo de maneiras significativas e positivas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nanotecnologia apresenta-se como uma ferramenta essencial para enfrentar desafios ambientais e de saúde, oferecendo soluções inovadoras e eficientes. Os nanomateriais possibilitam avanços significativos no tratamento de água, na remediação de solos contaminados e no desenvolvimento de terapias médicas mais eficazes.

Apesar dos benefícios, é fundamental considerar os riscos associados ao uso indiscriminado desses materiais, bem como a necessidade de regulamentações específicas.

Assim, conclui-se que a nanotecnologia deve ser aplicada de forma responsável, aliando desenvolvimento científico, segurança e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHUSHAN, B. **Springer Handbook of Nanotechnology**. 3. ed. Berlin: Springer, 2010.

BHUSHAN, B. **Springer handbook of nanotechnology**. 4. ed. Berlin: Springer, 2017.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. **Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artliber, 2006.

FARIAS, P. M.; SANTOS, R. L. **Nanotecnologia: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2018.

GECKELER, K. E.; ROSENBERG, E. **Functional Nanomaterials**. Boca Raton: CRC Press, 2010.

NAIKOO, Gowhar A. *et al*. Bioinspired and green synthesis of nanoparticles from plant extracts with antiviral and antimicrobial properties: a critical review. **Journal Of Saudi Chemical Society**, v. 25, n. 9, p. 101304, 2021.

QUINA, F. H. **Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos**. *Química Nova*, v. 31, n. 4, p. 1020–1027, 2008.

ROCO, M. C. **Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine**. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 14, n. 3, p. 337–346, 2003.

SANTOS, Evelyn CS et al. A reversible, switchable pH-driven quaternary ammonium pillar [5] arene nanogate for mesoporous silica nanoparticles. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 8, n. 4, p. 703-714, 2020.

SAVAGE, N.; DIALLO, M. S. **Nanomaterials and water purification: opportunities and challenges**. *Journal of Nanoparticle Research*, v.

7, p. 331–342, 2005.

SOUZA, Virgínia S. et al. Hybrid tantalum oxide nanoparticles from the hydrolysis of imidazolium tantalate ionic liquids: efficient catalysts for hydrogen generation from ethanol/water solutions. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 4, n. 19, p. 7469-7475, 2016.

TOMA, H. E. **O mundo nanométrico**: a dimensão do novo século, Ed. Oficina de Textos: São Paulo, 2004.

TOMA, Henrique E. Interfaces e organização da pesquisa no Brasil: da Química à Nanotecnologia. **Química Nova**, v. 28, p. S48-S51, 2005.

TU WIEN. **Converting CO_2 into fuel – with the help of battery waste**. TU Wien News, Viena, 4 mar., 2025.

VENTOLA, C. L. **The nanomedicine revolution: part 1 – emerging concepts**. *Pharmacy and Therapeutics*, v. 37, n. 9, p. 512–525, 2012.

---

[1] Docente do Curso Superior de Farmácia da Universidade Brasil, *Campus* de Fernandópolis-SP. Doutor em Química pelo Instituto de Química (UNESP- *Campus de Araraquara-SP*). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[2] Docente do Curso Superior de Farmácia da Universidade Brasil, *Campus* de Fernandópolis-SP. Mestre em Química (PPGQUIM/UNESP-Araraquara-SP). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail