

NANOTECNOLOGIA NO ENFRENTAMENTO DE *Enterococcus faecium*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E INIBIÇÃO DE BIOFILMES

Ana Júlia Melo de Vasconcelos Arruda¹;

¹Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/5406648571330642>

Milena Ferreira Cruz²;

²Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/4207450737094664>

Yasmim Fernandes Ramos³;

³Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/8755343599432821>

Letícia Nicolle Evangelista de Brito Gonçalves⁴;

⁴Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/3418656539713346>

Marina Guimarães Bastos Falcão⁵;

⁵Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/5601348392027105>

Matheus Rodrigues Torres Farias⁶;

⁶Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/4211471221712331>

Maísa Santos Moraes⁷;

⁷Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/2836200269622413>

Danielle Aguiar Souza⁸;

⁸Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/5967001827450079>

Natália de Medeiros Fiorentino⁹;

⁹Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/1551823648927432>

Ana Julia Freitas Lima¹⁰;

¹⁰Instituto de Ciências Biológicas (ICB/UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/8326671224576230>

Nicolly Magalhães de Oliveira¹¹;

¹¹Programa de Pós-Graduação de Biologia Celular e Molecular Aplicada (PPGBCMA), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/5295305905930492>

Artur Cavalcante da Costa Pinheiro¹²;

¹²Faculdade Pernambucana de Saúde (FPS), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/3321409636375512>

Ariane Pereira da Costa¹³;

¹³Programa de Pós-graduação em Biologia Aplicada à Saúde (iLIKA/UFPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/2335435910706716>

Rayane Maria Castro da Silva¹⁴;

¹⁴Programa de Pós-Graduação em Biologia Aplicada à Saúde (iLIKA/UFPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/3707039654204066>

Carolina Maria da Silva¹⁵.

¹⁵Universidade de Pernambuco (UPE), Recife, Pernambuco.

<http://lattes.cnpq.br/0118362487473134>

RESUMO: *Enterococcus faecium* destaca-se como um importante patógeno oportunista associado às infecções hospitalares, especialmente devido à resistência antimicrobiana e à capacidade de formação de biofilmes. Nesse contexto, a nanotecnologia surge como estratégia complementar para o enfrentamento desse microrganismo. O presente estudo objetivou analisar o potencial de diferentes nanomateriais no controle de *E. faecium*, com ênfase nas atividades antimicrobiana e antibiofilme. Trata-se de uma revisão sistemática da literatura, de natureza básica, abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo, conduzida conforme as diretrizes PRISMA. Foram realizadas buscas nas bases PubMed, LILACS-BVS e ScienceDirect, utilizando os descritores “Nanoparticles”, “Biofilms” e “*Enterococcus faecium*”, combinados pelo operador booleano AND. Foram incluídos 13 estudos. As nanopartículas de prata predominaram, presentes em 61,5% dos artigos (n=8). A atividade antimicrobiana foi identificada em 100% dos estudos (n= 13), incluindo ação contra cepas resistentes à vancomicina. A atividade antibiofilme esteve presente em 92,3%

(n=12) dos estudos, destacando-se redução de até 95,20% dos biofilmes. Associações com antimicrobianos também demonstraram potencial sinérgico. Portanto, os achados apontam que os nanomateriais, especialmente AgNPs, apresentam resultados promissores frente ao controle e combate ao *E. faecium*, embora sejam necessários estudos que avancem para modelos *in vivo* e aplicações clínicas.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência antimicrobiana. Nanopartículas. Inovação.

NANOTECHNOLOGY IN COMBATING *Enterococcus faecium*: AN INTEGRATIVE REVIEW OF ANTIMICROBIAL ACTIVITY AND BIOFILM INHIBITION

ABSTRACT: *Enterococcus faecium* stands out as an important opportunistic pathogen associated with healthcare-associated infections, especially because of its antimicrobial resistance and its ability to form biofilms. In this context, nanotechnology appears as a complementary strategy to control this microorganism. This study aimed to analyze the potential of nanomaterials against *E. faecium*, with emphasis on their antimicrobial and antibiofilm activities. This is a systematic review with a basic research approach, qualitative methodology, and exploratory-descriptive design, conducted according to the PRISMA guidelines. Searches were performed in PubMed, LILACS-BVS, and ScienceDirect using the descriptors “Nanoparticles”, “Biofilms”, and “*Enterococcus faecium*”, combined with the Boolean operator AND. Thirteen studies were included. Silver nanoparticles were the most common nanomaterial, present in 61.5% of the articles (n=8). Antimicrobial activity was identified in 100% (n=13), including activity against vancomycin-resistant strains. Antibiofilm activity was observed in 92.3% of the studies (n=12), with biofilm reductions of up to 95.20%. Associations with antimicrobial agents also showed potential synergistic effects. Therefore, the findings suggest that nanomaterials, especially AgNPs, show promising results against *E. faecium*, although further studies using *in vivo* models and clinical applications are still needed.

KEYWORDS: Antimicrobial resistance. Nanoparticles. Innovation.

INTRODUÇÃO

Enterococcus faecium é uma bactéria Gram-positiva que integra a microbiota do trato gastrointestinal humano, com capacidade de colonizar diferentes sítios do organismo e de persistir em ambientes hospitalares, sendo relacionada à ocorrência de infecções, principalmente em indivíduos hospitalizados e expostos a fatores predisponentes como tempo de internamento prolongado e uso de dispositivos invasivos. A espécie é importante agente de Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS), podendo ocasionar infecções do trato urinário, de feridas e de sítios cirúrgicos, bacteremia e endocardite, apresentando particular relevância em pacientes submetidos a procedimentos invasivos

ou imunocomprometidos (Khan; Unnikrishnan; Ramalingam, 2024; Limayem et al., 2023; Sabzi et al., 2022).

A resistência antimicrobiana (RAM) constitui um dos principais desafios para a saúde pública, sobretudo em decorrência da crescente disseminação de microrganismos multidroga-resistentes (MDR). Nesse contexto, *E. faecium*, integrante do grupo das bactérias gram-negativas, destaca-se como um importante patógeno oportunista. Sua capacidade de formar biofilmes contribui significativamente para sua persistência em diferentes ambientes e superfícies, favorecendo a manutenção da infecção e dificultando a ação dos agentes antimicrobianos, especialmente em cepas resistentes à vancomicina (Khan; Unnikrishnan; Ramalingam, 2024; Ibrahim et al., 2025; Abusalim; Alissa, 2026).

Diante dessas limitações terapêuticas, a nanotecnologia emerge como uma abordagem promissora para o desenvolvimento de estratégias alternativas ou complementares ao tratamento de infecções oriundas da espécie. Sob essa perspectiva, as nanopartículas (NPs) destacam-se apresentando propriedades físico-químicas particulares, como elevada área superficial, capacidade de interação com estruturas celulares e possibilidade de modificação de sua composição e superfície, características que favorecem sua aplicação como agentes antimicrobianos. Diferentes nanomateriais vêm sendo investigados, incluindo NPs de prata, ouro, óxido de grafeno associado à platina e sulfeto de zinco (Hasoon et al., 2024; Holubnycha et al., 2024; Ibrahim et al., 2025).

Entre esses materiais, as nanopartículas de prata (AgNPs) ganham visibilidade por sua atividade antimicrobiana, associada a mecanismos de alterações da membrana celular, liberação de íons de prata e geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) (Molina-Hernandez et al., 2021; Yusuf-Omoloye et al., 2024). Além disso, as NPs podem ser empregadas em associação com antimicrobianos convencionais, constituindo uma estratégia de interesse para o enfrentamento de microrganismos MDR e formadores de biofilme (Sabzi et al., 2022; Mishra et al., 2024).

Desse modo, a crescente relevância de *E. faecium* no cenário da RAM, somada à complexidade das infecções associadas à formação de biofilmes, evidencia a necessidade de estratégias terapêuticas complementares. Nessa perspectiva, a investigação do potencial das NPs frente a esse patógeno mostra-se pertinente para ampliar as perspectivas de controle da infecção e contribuir para o desenvolvimento de abordagens terapêuticas mais eficazes.

OBJETIVO

Analisar o potencial nanotecnológico no enfrentamento de *E. faecium*, com ênfase no desenvolvimento de sistemas de liberação controlada de agentes antimicrobianos e na inibição da formação e persistência de biofilmes, buscando identificar as principais estratégias e nanossistemas empregados, avaliar sua eficácia antimicrobiana e antibiofilme,

bem como discutir suas vantagens, limitações e perspectivas no controle de infecções associadas a esse patógeno.

METODOLOGIA

A pesquisa consiste em uma revisão sistemática da literatura, de natureza básica, com abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo. A pesquisa foi conduzida em agosto de 2026, seguindo as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Para o gerenciamento das referências, organização das citações e exclusão de duplicidades, foi utilizado o gerenciador bibliográfico Mendeley.

A busca foi realizada nas bases de dados PubMed, LILACS-BVS e ScienceDirect. Foram utilizados descritores em inglês e português selecionados a partir do *Medical Subject Headings* (MeSH) e do Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), sendo eles: “Nanoparticles”, “Biofilms” e “*Enterococcus faecium*”, combinados entre si por meio do operador booleano “AND”.

Como critérios de inclusão foram selecionados artigos originais e experimentais em inglês e português, publicados nos últimos cinco anos e com acesso gratuito ao texto completo. Foram excluídas as revisões de literatura, trabalhos com conteúdo fora da temática, com informações insuficientes e artigos duplicados.

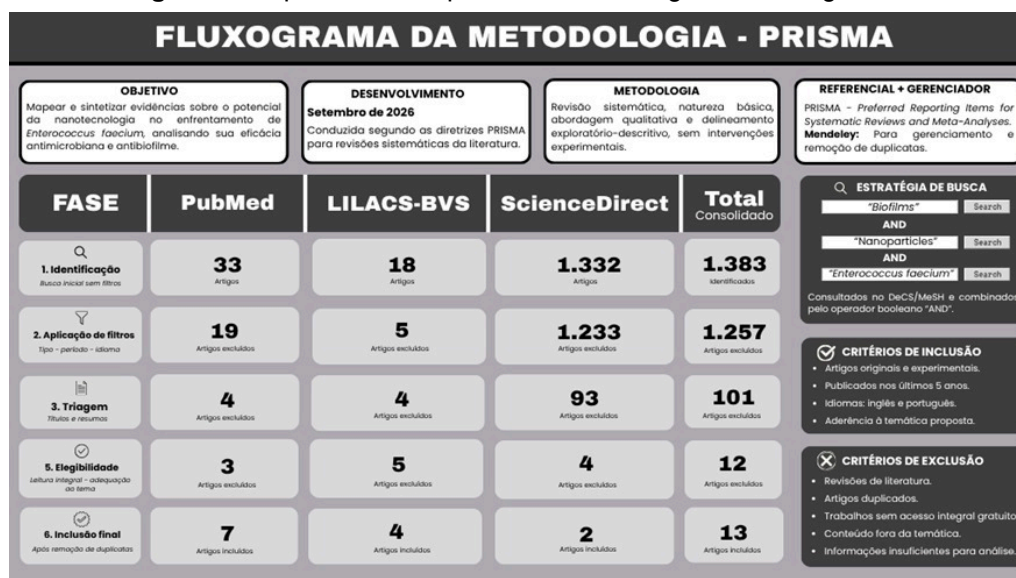
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados inicialmente 33 artigos no PubMed, 18 no LILACS-BVS e 1.332 no ScienceDirect. Após a aplicação dos critérios de inclusão foram descartados 19 artigos no PubMed, 5 no LILACS-BVS e 1.233 no ScienceDirect. Posteriormente, foi realizada a triagem através da leitura de títulos e resumos, sendo excluídos 4 artigos do PubMed, 4 do LILACS-BVS e 93 do ScienceDirect. Em sequência, na etapa de elegibilidade, os artigos foram analisados na íntegra para verificar o alinhamento com a temática proposta, o que resultou na exclusão de 3 artigos do PubMed, 5 do LILACS-BVS e 4 do ScienceDirect. As duplicatas foram consideradas em uma única base de dados.

Ao final do processo de seleção, foram incluídos 13 artigos que atenderam aos critérios estabelecidos e estão inclusos na presente revisão, constituindo a base para a análise do potencial das NPs frente a *E. faecium* e, principalmente, de sua aplicação no controle do crescimento bacteriano e da formação de biofilmes, sendo 7 resultantes do PubMed, 4 do LILACS-BVS e 2 do ScienceDirect, os quais constituíram a base de dados deste levantamento (Figura 1).

Por fim, as porcentagens expostas derivam do conjunto de investigações selecionadas (n=13), calculando-se a recorrência de cada aspecto avaliado no grupo final de artigos.

Figura 1: Mapeamento do percurso metodológico via fluxograma.



Fonte: Autores, 2026.

Tipos de nanomateriais avaliados

Os estudos demonstraram predominância das AgNPs (Quadro 1), presentes em 61,5% (n=8) dos artigos analisados, destacando-se pela atividade antimicrobiana e antibiofilme frente a *E. faecium*, incluindo cepas resistentes à vancomicina. Holubnycha et al. (2024) demonstraram atividade de diferentes morfologias de AgNPs, com desempenho influenciado pelo formato das partículas, enquanto Limayem et al. (2023) observaram redução de 78,09 a 95,20% de biofilmes de *E. faecium* resistentes.

Além das AgNPs, foram investigadas NPs fototérmicas de polidopamina (7,7%; n=1), NPs core-shell de óxido de grafeno e platina (7,7%; n=1), nanoconjugados de ZnS e Au@ZnS (7,7%; n=1), revestimentos de nitreto de titânio contendo prata (7,7%; n=1) e NPs de sódio (7,7%; n=1), evidenciando a diversidade de estratégias nanotecnológicas empregadas no controle de patógenos ESKAPE, grupo de microrganismos gram-negativos.

Nesse contexto, a maior frequência das AgNPs pode refletir seu maior nível de investigação e a consistência dos resultados obtidos frente a microrganismos MDR, enquanto outras nanoestruturas ainda necessitam de maior investigação para determinar sua aplicabilidade e eficácia.

Efeito antimicrobiano

A atividade antimicrobiana constituiu o principal efeito observado, sendo identificada em 100% (n=13) dos estudos selecionados. Os trabalhos demonstraram redução da viabilidade, crescimento ou sobrevivência bacteriana após a exposição aos diferentes nanomateriais. Molina-Hernandez et al. (2021) demonstraram que nanoaglomerados de prata apresentaram atividade bactericida em concentrações inferiores a 1 ppm (parte por

milhão), com erradicação de biofilmes a 0,6 ppm, associada à despolarização da membrana e ao aumento do cálcio intracelular. Holubnycha *et al.* (2024) também identificaram danos à membrana bacteriana e redução da viabilidade celular, evidenciando a influência das características físico-químicas das NPs sobre sua atividade.

Entre os estudos direcionados a cepas resistentes, Limayem *et al.* (2023) demonstraram elevada atividade das AgNPs contra *E. faecium* 1449 resistente a fármacos, enquanto Yusuf-Omoloye *et al.* (2024) observaram atividade contra enterococos resistentes à vancomicina. Abusalim e Alissa (2026) identificaram redução bacteriana de aproximadamente $4 \log_{10}$ UFC/mL utilizando AgNPs biossintetizadas com mel, reforçando o potencial dessas nanoestruturas contra fenótipos de resistência.

Em conjunto, os resultados evidenciam a ampla atividade antimicrobiana dos nanomateriais avaliados, especialmente das AgNPs, contra cepas sensíveis e MDR, como uma abordagem complementar para ampliar as possibilidades de enfrentamento da RAM, sobretudo diante da limitação de terapias convencionais.

Atividade antibiofilme

A atividade antibiofilme apresentou elevada frequência, sendo identificada em 92,3% (n=12) dos estudos analisados. Os efeitos compreenderam tanto a inibição da formação quanto a redução ou erradicação de biofilmes previamente estabelecidos. Limayem *et al.* (2023) observaram redução de até 95,20% do biofilme de *E. faecium*, enquanto Molina-Hernandez *et al.* (2021) demonstraram erradicação de biofilmes em baixas concentrações de nanoaglomerados de prata.

Khan *et al.* (2024), Yusuf-Omoloye *et al.* (2024), Holubnycha *et al.* (2024) e Abusalim e Alissa (2026) também identificaram redução da formação ou viabilidade de biofilmes após exposição às AgNPs. Outras nanoestruturas apresentaram efeitos semelhantes, como as NPs de óxido de grafeno e platina avaliadas por Hasoon *et al.* (2024), os sistemas ZnS e Au@ZnS investigados por Ibrahim *et al.* (2025) e os revestimentos de nitreto de titânio contendo prata analisados por Hojda *et al.* (2025). Esses achados indicam que os nanomateriais podem interferir em diferentes etapas do desenvolvimento do biofilme, desde a adesão inicial até sua organização e manutenção.

A elevada ocorrência sugere que os nanomateriais podem atuar sobre um dos principais mecanismos associados à persistência e tolerância bacteriana. Esse efeito é potencialmente relevante em *E. faecium*, cuja capacidade de formar biofilmes favorece a manutenção de infecções e dificulta a ação dos antimicrobianos, indicando que o rompimento dessa estrutura pode representar uma via estratégica para aumentar a suscetibilidade bacteriana ao tratamento.

Associação com antimicrobianos

A utilização de NPs em combinação com antimicrobianos convencionais foi investigada em 15,4% (n=2) dos estudos selecionados. Sabzi *et al.* (2022) observaram maior atividade das AgNPs em comparação às AuNPs contra isolados de *Enterococcus*, além da potencialização da inibição do biofilme quando associadas à linezolida. Mishra *et al.* (2024) demonstraram efeito sinérgico entre AgNPs e diferentes antibióticos contra patógenos ESKAPE MDR, com redução das concentrações necessárias dos antimicrobianos e potencialização da atividade antibiofilme. Esses resultados sugerem que as NPs podem atuar como adjuvantes terapêuticos, potencializando a ação de antibióticos convencionais e representando uma estratégia promissora diante da crescente resistência bacteriana.

Mecanismos de ação

Os estudos analisados demonstraram que os nanomateriais atuam por múltiplos mecanismos de ação, sendo a alteração da membrana celular um dos mecanismos mais diretamente evidenciados, presente em 15,4% (n=2) dos estudos que descreveram especificamente esse efeito. Molina-Hernandez *et al.* (2021) associaram a ação dos nanoaglomerados de prata à despolarização da membrana e ao aumento do Ca^{2+} intracelular, enquanto Holubnycha *et al.* (2024) observaram danos à membrana bacteriana associados à redução da viabilidade celular.

Outros mecanismos descritos incluíram desequilíbrio iônico, estresse oxidativo, comprometimento da adesão e desorganização da matriz extracelular do biofilme. Nos sistemas associados a antibióticos ou constituídos por diferentes componentes, como Au@ZnS e AgNPs combinadas a antimicrobianos, a ação pode ser potencializada pela atuação complementar dos diferentes agentes. A diversidade de mecanismos observados evidencia a capacidade dos nanomateriais de atuar simultaneamente sobre diferentes alvos bacterianos, característica particularmente relevante diante da RAM.

Limitações das evidências disponíveis

Apesar dos resultados promissores, a maioria dos estudos apresentou abordagem *in vitro*, com variações quanto às cepas utilizadas, concentrações, tamanho, morfologia, composição e métodos de síntese dos nanomateriais, dificultando a comparação direta entre os resultados. Embora Abusalim e Alissa (2026) tenham realizado uma avaliação preliminar de segurança, ainda são necessários estudos mais abrangentes sobre toxicidade, estabilidade, biodistribuição e eficácia em modelos biológicos complexos.

Dessa forma, os achados dos 13 estudos evidenciam o potencial da nanotecnologia como estratégia complementar no enfrentamento de *E. faecium* e outros patógenos ESKAPE, especialmente por meio das AgNPs, presentes em 61,5% (n=8) dos trabalhos. A elevada frequência de efeitos antimicrobianos (100%; n=13) e antibiofilme (92,3%; n=12)

reforça o potencial dessas nanoestruturas, enquanto a associação com antibióticos, embora investigada em apenas 15,4% (n=2) dos estudos, demonstra perspectivas adicionais para o enfrentamento da RAM. Entretanto, a consolidação dessas estratégias para aplicação clínica ainda depende de maior padronização metodológica e da realização de estudos *in vivo* e clínicos que confirmem sua eficácia e segurança.

Quadro 1: Caracterização dos estudos incluídos na revisão (n=13).

Autor/ano	Nanomateriais	Principal aplicação	Principais resultados
Gao et al. (2021)	NPs fototérmicas de polidopamina	Biofilmes de patógenos ESKAPE.	Atividade antimicrobiana por conversão fototérmica, redução/erradicação de biofilmes.
Molina-Hernandez et al. (2021)	Nanoclusters de prata	Ação bactericida.	Despolarização da membrana e aumento de Ca ²⁺ , causando morte bacteriana e erradicação de biofilmes.
Sabzi et al. (2022)	AgNPs e AuNPs + linezolid	Terapia antimicrobiana.	AgNPs foram mais ativas que AuNPs; a associação com linezolid potencializou o efeito antibiofilme.
Limayem et al. (2023)	AgNPs	<i>E. faecium</i> resistente.	Elevada atividade bactericida e redução de 78,09–95,20% do biofilme.
Khan et al. (2024)	AgNPs biossintetizadas	Controle de patógenos ESKAPE MDR.	Atividade contra bactérias MDR, reduzindo a formação e o biofilme.
Holubnycha et al. (2024)	AgNPs de diferentes morfologias	Atividade antimicrobiana contra patógenos clínicos.	Atividade contra <i>E. faecium</i> , com inibição de biofilmes influenciada pela morfologia das NPs.
Hasoon et al. (2024)	GOPT core-shell NPs	Prevenção da formação de biofilme.	Atividade antibacteriana contra <i>E. faecium</i> e potencial de inibição da formação de biofilme.
Yusuf-Omoloye et al. (2024)	AgNPs biossintetizadas com <i>Azanza garckeana</i>	Controle de VRE.	Atividade antibacteriana e inibição da formação de biofilme.
Hojda et al. (2025)	TiN e TiN-AgNPs	Revestimento de biomateriais/implantes.	Revestimentos com prata reduziram a adesão e formação de biofilme.
Ibrahim et al. (2025)	ZnS e AuZnS core-shell	Biofilmes/dispositivos.	AuZnS foi mais ativo que ZnS, com MIC de 7,81 µg/mL e redução de biofilme e matriz extracelular.
Mezher et al. (2025)	NaNPs biossintetizadas	Atividade antibacteriana/ antibiofilme.	MBC de 0,0625 mg/mL, com 62% de inibição do biofilme inicial e ~21% do biofilme estabelecido.
Abusalim & Alissa (2026)	AgNPs biossintetizadas com mel	Controle de VRE.	MIC de 32 µg/mL, redução de ~4 log ₁₀ UFC/mL e inibição de biofilme de 61,4–86,5%.

Abreviações: AgNPs, nanopartículas de prata; AuNPs, nanopartículas de ouro; NaNPs, nanopartículas de sódio; TiN, nitreto de titânio; TiN-AgNPs, nitreto de titânio com nanopartículas de prata; ZnS, sulfeto de zinco; AuZnS, nanopartículas core-shell de ouro e sulfeto de zinco; GOPT, nanocompósito core-shell de óxido de grafeno e platina; MDR, multidroga-resistente; VRE, *Enterococcus* resistente à vancomicina; MIC, Concentração Inibitória Mínima; MBC, Concentração Bactericida Mínima; ESKAPE, grupo de patógenos bacterianos; Ca²⁺, íon cálcio. **Fonte:** Autores, 2026.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada demonstra que a nanotecnologia apresenta perspectivas inovadoras como abordagem complementar para o controle de *E. faecium*, especialmente por possibilitar a atuação sobre diferentes alvos envolvidos na sobrevivência bacteriana e na manutenção dos biofilmes. Esses achados reforçam o potencial dos nanomateriais para contribuir com estratégias alternativas diante das limitações terapêuticas enfrentadas atualmente.

Embora as evidências disponíveis sejam favoráveis, ainda não é possível estabelecer a aplicação clínica consolidada desses nanomateriais. A variabilidade entre as características das NPs, as condições experimentais e os modelos utilizados limita a comparação entre os estudos e a definição de parâmetros aplicáveis à prática. Além disso, há a necessidade de maior investigação sobre os aspectos relacionados à segurança e ao comportamento desses sistemas em organismos vivos.

Dessa forma, trabalhos futuros devem buscar maior padronização dos métodos de análise, aprofundar a compreensão dos mecanismos envolvidos e ampliar as avaliações de eficácia e segurança em modelos *in vivo* e clínicos. A consolidação dessas evidências poderá favorecer o desenvolvimento de estratégias nanotecnológicas mais direcionadas e seguras, fortalecendo seu potencial como ferramenta complementar no controle de infecções por *E. faecium* e no enfrentamento dos desafios relacionados à RAM.

REFERÊNCIAS

ABUSALIM, Ghadah S.; ALISSA, Mohammed. **Honey-biosynthesized silver nanoparticles against vancomycin-resistant enterococci: integrated antibacterial, antibiofilm, mechanistic and preliminary safety evaluation.** *Scientific Reports*, v. 16, n. 1, art. 24735, 2026.

GAO, Ruifang; VAN DER MEI, Henny C.; PETERSON, Brandon W. **Thermoresistance of ESKAPE pathogens, eradication and prevention of infectious biofilm growth by photothermal polydopamine nanoparticles in vitro.** *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, v. 24, p. 102293, 2021.

HASOON, Buthenia A.; HASAN, Dahlia M. A.; JAWAD, Kareem H.; SHAKAER, Saaud S.; SULAIMAN, Ghassan M.; HUSSEIN, Nehia N.; MOHAMMED, Hamdoon A.; ABOMUGHAID, Mosleh M.; RAMESH, Thotakura. **Promising antibiofilm formation: liquid phase pulsed laser ablation synthesis of Graphene Oxide@Platinum core-shell nanoparticles.** *PLOS ONE*, v. 19, n. 9, e0310997, 2024.

HOJDA, Sandra; BIEGUN-ŻUROWSKA, Maria; SKÓRKOWSKA, Alicja; KLESIEWICZ, Karolina; ZIĄBKA, Magdalena. **A weapon against implant-associated infections: antibacterial and antibiofilm potential of biomaterials with titanium nitride and titanium nitride-silver nanoparticle electrophoretic deposition coatings.** *International Journal of*

Molecular Sciences, v. 26, n. 4, p. 1646, 2025.

HOLUBNYCHA, Viktoriia; HUSAK, Yevheniia; KORNIIENKO, Viktoriia; BOLSHANINA, Svetlana; TVERESOVSKA, Olesia; MYRONOV, Petro; HOLUBNYCHA, Marharyta; BUTSYK, Anna; BORÉN, Thomas; BANASIUK, Rafal; RAMANAVICIUS, Arunas; POGORIELOV, Maksym. **Antimicrobial activity of two different types of silver nanoparticles against wide range of pathogenic bacteria.** *Nanomaterials*, v. 14, n. 2, p. 137, 2024.

IBRAHIM, Shaikh Imran; PARAMBIL, Ajith Manayil; JHA, Neha; TOMAR, Anuj Kumar; RAJAMANI, Paulraj; JIAN, Xiao; PRIYADARSHINI, Eepsita; SHAO, Chuxiao. **Targeting ESKAPE pathogens with ZnS and Au@ZnS core-shell nanoconjugates for improved biofilm control.** *Scientific Reports*, v. 15, art. 21407, 2025.

KHAN, Mohd Hashim; UNNIKRISHNAN, Sneha; RAMALINGAM, Karthikeyan. **Antipathogenic efficacy of biogenic silver nanoparticles and antibiofilm activities against multi-drug-resistant ESKAPE pathogens.** *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 196, n. 4, p. 2031-2052, 2024.

LIMAYEM, Alya; MEHTA, Mausam; KONDOS, Natalie; KAUSHAL, Divya; AZAM, Farhat Binte; CHELLAPPAN, Sriram; QIN, Nan; ZHOU, Qingyu. **Evaluation of bactericidal effects of silver hydrosol nanotherapeutics against *Enterococcus faecium* 1449 drug resistant biofilms.** *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, v. 12, art. 1095156, 2023.

MEZHER, Malak; KHALIL, Mahmoud I.; HAMDALLA, Taymour A.; EL BADAN, Dalia. **Biosynthesis, characterization, antibacterial, antibiofilm, and antioxidant activities of sodium nanoparticles from *Escherichia coli* metabolites.** *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, v. 23, n. 4, art. 100575, 2025.

MISHRA, Maitri; BALLAL, Anand; RATH, Devashish; RATH, Archana. **Novel silver nanoparticle-antibiotic combinations as promising antibacterial and anti-biofilm candidates against multiple-antibiotic resistant ESKAPE microorganisms.** *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 236, p. 113826, 2024.

MOLINA-HERNANDEZ, Junior Bernardo; ACETO, Antonio; BUCCIARELLI, Tonino; PALUDI, Domenico; VALBONETTI, Luca; ZILLI, Katiuscia; SCOTTI, Luca; CHAVES-LÓPEZ, Clemencia. **The membrane depolarization and increase intracellular calcium level produced by silver nanoclusters are responsible for bacterial death.** *Scientific Reports*, v. 11, art. 21557, 2021.

SABZI, Niloofar; MONIRI, Rezvan; SEHAT, Mojtaba; FATHIZADEH, Hadis; NAZARI-ALAM, Ali. **Antimicrobial effect of silver and gold nanoparticles in combination with linezolid on *Enterococcus* biofilm.** *Iranian Journal of Microbiology*, v. 14, n. 6, p. 863-873, 2022.

YUSUF-OMOLOYE, Nana Aishat; ADEYEMI, Folasade Muibat; SULE, Waidi Folorunso;

AZEEZ, Luqmon; OYEDARA, Omotayo Opemipo; WAHAB, Abideen Akinkunmi; AJIGBEWU, Olaoniye Habeebat; LATEEF, Agbaje. **Green-synthesis, characterization, and antibacterial activity of *Azanza garckeana* seed extract silver nanoparticles against vancomycin-resistant Enterococci.** *Next Nanotechnology*, v. 6, art. 100035, 2024.