REVISTA SAÚDE E TECNOLOGIA
Revista Científica Multidisciplinar | Journal Health and Technology – JHT – ISSN 2764-7625
v.8, n.2, 2026

EFEITOS DO BIOFILME BACTERIANO NA RESISTENCIA A DESINFETANTES HOSPITALARES: REVISÃO DE LITERATURA

EFFECTS OF BACTERIAL BIOFILM ON RESISTANCE TO HOSPITAL DISINFECTANTS: A LITERATURE REVIEW

EFECTOS DE LA BIOPELÍCULA BACTERIANA EN LA RESISTENCIA A LOS DESINFECTANTES HOSPITALARIOS: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Rafaela Marques dos Santos [1], Luís Henrique Nunes de Souza [2], Priscila Luiza Mello [3]

e8274
https://doi.org/10.71328/jht.v8i2.74

PUBLICADO: 06/2026

RESUMO

Introdução: As infecções hospitalares são potencializadas pela formação de biofilmes em superfícies e dispositivos médicos, dificultando a eliminação microbiana. A eficácia da desinfecção depende da escolha adequada do agente, sua concentração e o tempo de exposição. Objetivo: Revisar a literatura sobre o impacto do biofilme bacteriano na resistência a desinfetantes hospitalares, abordando formação, mecanismos de resistência e implicações para o controle de infecções. Método: Realizou-se revisão narrativa da literatura recente (2018–2024) em bases como PubMed, SciELO, LILACS e Google Acadêmico, utilizando descritores relacionados a biofilmes, desinfetantes hospitalares e resistência microbiana. Resultados: O controle de biofilmes requer a integração de novas tecnologias, como nanopartículas, enzimas e luz UV-C, capazes de superar a barreira estrutural protetora. Conclusão: O biofilme confere resistência persistente aos desinfetantes, tornando essencial combinar tecnologias inovadoras e rigor na aplicação de protocolos manuais, com treinamento contínuo das equipes para garantir eficácia na prevenção de infecções relacionadas à assistência à saúde.

PALAVRAS-CHAVE: Biofilmes. Resistência Microbiana a Medicamentos. Controle de Infecções. Desinfetantes.

ABSTRACT

Introduction: Hospital-acquired infections are intensified by the formation of biofilms on surfaces and medical devices, making microbial elimination difficult. The effectiveness of disinfection depends on selecting the appropriate agent, its concentration, and the required exposure time. Objective: To review the literature on the impact of bacterial biofilm on resistance to hospital disinfectants, addressing biofilm formation, resistance mechanisms, and implications for infection control. Method: A narrative review of recent literature (2018–2024) was conducted in databases such as PubMed, SciELO, LILACS, and Google Scholar, using descriptors related to biofilms,

[1] Discente de bacharelado em Biomedicina da Universidade Guarulhos – UNG.
[2] Mestre em Ciências e discente de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade Guarulhos- UNG.
[3] Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade Guarulhos- UNG.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

hospital disinfectants, and microbial resistance. Results: Effective biofilm control requires integrating new technologies such as nanoparticles, enzymes, and UV-C light, which can overcome the protective structural barrier. Conclusion: Biofilms confer persistent resistance to disinfectants, making it essential to combine innovative technologies with strict adherence to manual protocols, supported by continuous staff training to ensure effective prevention of healthcare-associated infections.

KEYWORDS: *Biofilms. Drug Resistance, Microbial. Infection Control. Disinfectants.*

RESUMEN
Introducción: Las infecciones hospitalarias se agravan por la formación de biopelículas en superficies y dispositivos médicos, lo que dificulta la eliminación microbiana. La eficacia de la desinfección depende de la correcta selección del agente, su concentración y el tiempo de exposición. Objetivo: Revisar la literatura sobre el impacto de la biopelícula bacteriana en la resistencia a los desinfectantes hospitalarios, abordando su formación, los mecanismos de resistencia y las implicaciones para el control de infecciones. Método: Se realizó una revisión narrativa de la literatura reciente (2018–2024) en bases como PubMed, SciELO, LILACS y Google Académico, utilizando descriptores relacionados con biopelículas, desinfectantes hospitalarios y resistencia microbiana. Resultados: El control efectivo de las biopelículas requiere integrar nuevas tecnologías, como nanopartículas, enzimas y luz UV-C, capaces de superar la barrera estructural protectora. Conclusión: La biopelícula confiere una resistencia persistente a los desinfectantes, lo que hace esencial combinar tecnologías innovadoras con rigurosidad en la aplicación de los protocolos manuales, junto con capacitación continua del personal para garantizar la prevención eficaz de infecciones asociadas a la atención en salud.

PALABRAS CLAVE: *Biopelículas. Farmacorresistencia Microbiana. Control de Infecciones. Desinfectantes.*

INTRODUÇÃO

As infecções relacionadas à assistência à saúde (IRAS) constituem um dos maiores desafios da saúde pública, pois impactam diretamente a segurança do paciente e aumentam significativamente os custos hospitalares[1]. Esse cenário decorre de múltiplos fatores, entre eles o contato frequente de profissionais e pacientes com dispositivos invasivos (como cateteres, sondas e ventiladores mecânicos), que favorece a transferência de microrganismos; a capacidade desses agentes de aderirem a superfícies plásticas e metálicas, formando biofilmes de difícil remoção; falhas recorrentes nos processos de higienização; e a presença de cepas multirresistentes selecionadas pelo uso intenso de antimicrobianos em hospitais. Em conjunto, esses elementos transformam superfícies e dispositivos médicos em potenciais reservatórios de infecção, exigindo práticas rigorosas de prevenção e controle[2].

Os biofilmes bacterianos assumem papel central nesse processo. Definidos como comunidades de microrganismos organizados em uma matriz extracelular e aderidos a superfícies vivas ou inertes, os biofilmes conferem maior resistência a condições adversas,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

incluindo a ação de antimicrobianos e desinfetantes[3–5]. Em ambientes hospitalares, podem formar-se em cateteres, próteses, instrumentais cirúrgicos e superfícies próximas aos pacientes, favorecendo a persistência e disseminação de patógenos multirresistentes[6–8].

Os biofilmes são amplamente reconhecidos como estruturas resilientes e complexas, capazes de sobreviver em diferentes habitats, incluindo ambientes clínicos[49]. Essa organização lhes confere importantes vantagens adaptativas, como menor suscetibilidade à fagocitose, à desidratação e à ação de antibióticos e biocidas[10,11]. Não por acaso, infecções associadas a biofilmes frequentemente demandam tratamentos prolongados, uso de combinações de fármacos em altas doses e, em casos graves, substituição ou remoção de dispositivos médicos[8,12].

No contexto dos protocolos de desinfecção, microrganismos presentes em biofilmes apresentam baixa suscetibilidade a agentes químicos, físicos e biológicos. Estudos demonstram que sua resposta a biocidas costuma seguir um padrão de "dose-resposta", em que concentrações mais elevadas tendem a ser mais eficazes[13,14]. Ainda assim, mesmo sob condições de maior concentração, biofilmes mantêm elevada tolerância a sanitizantes, como observado em cepas de *Salmonella spp.* e *Enterococcus faecalis*[15,16]. A limitação de métodos físicos também é relevante: a baixa penetração da radiação ultravioleta (UV) na matriz do biofilme reduz a eficácia de sistemas automatizados de higienização[17]. Nesse cenário, tecnologias alternativas têm sido investigadas, como o uso de lâmpadas LED violeta-azuladas, que apresentam resultados promissores na redução da contaminação por *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina[18].

Outro ponto crítico é a ausência de uma definição universalmente aceita para "resistência a desinfetantes", o que dificulta a padronização de protocolos e pode limitar a atenção dada ao problema por profissionais e gestores de saúde[19,20]. Tal lacuna é particularmente preocupante em ambientes hospitalares, onde microrganismos frequentemente persistem em superfícies próximas a pacientes, organizados em biofilmes nos quais os desinfetantes não conseguem penetrar de forma eficaz[21,22].

Biofilmes associados ao ambiente hospitalar representam, assim, uma fonte contínua de patógenos multirresistentes, dificultando a prevenção e o controle das IRAS. A escolha adequada do desinfetante, entre compostos como quaternários de amônio, álcool, glutaraldeído, peróxido de hidrogênio, ácido peracético, hipoclorito de sódio, iodóforos e fenólicos, bem como a especificação correta de parâmetros como concentração e tempo de exposição, são cruciais para a eficácia do processo[6,2]. Além disso, técnicas inovadoras de desinfecção sem contato vêm ganhando destaque como alternativas promissoras para reduzir

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

a contaminação cruzada e aumentar a segurança em ambientes de saúde[12,18].

Diante desse contexto, compreender como o biofilme bacteriano interfere na ação de desinfetantes hospitalares é fundamental para subsidiar a definição de protocolos mais eficazes e orientar a incorporação de novas tecnologias nos serviços de saúde.

MATERIAL E MÉTODO

Trata-se de uma revisão narrativa ampliada da literatura, conduzida com o objetivo de identificar, descrever e sintetizar as evidências científicas disponíveis sobre o efeito do biofilme bacteriano na resistência a desinfetantes utilizados em ambientes hospitalares. Optou-se por esse delineamento por permitir a integração de estudos clássicos e recentes, fundamentais para compreender tanto a base conceitual quanto os avanços tecnológicos relacionados ao tema.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases PubMed/MEDLINE, SciELO e LILACS. Inicialmente, não foi estabelecido limite temporal, a fim de incluir estudos clássicos sobre formação, estrutura e mecanismos de resistência de biofilmes. Em seguida, deu-se ênfase a publicações mais recentes (aproximadamente 2018–2024), com foco em tecnologias inovadoras de controle e desinfecção em ambientes de saúde. Foram considerados artigos publicados em português, inglês e espanhol.

Além da busca nas bases, as listas de referências dos artigos selecionados foram examinadas (estratégia de *snowballing*), o que permitiu identificar estudos adicionais relevantes para o tema.

Foram incluídos artigos originais, revisões de literatura e estudos experimentais clássicos que abordassem, direta e especificamente: (1) a formação, estrutura e características da matriz extracelular de biofilmes; (2) a resistência de biofilmes bacterianos a desinfetantes de uso hospitalar (químicos e físicos); e (3) tecnologias e estratégias aplicadas ao controle de biofilmes em ambientes de assistência à saúde. Foram excluídos teses, dissertações, editoriais, cartas ao editor, resumos de congresso, documentos sem revisão por pares e textos indisponíveis na íntegra.

Os estudos potencialmente elegíveis foram triados por meio da leitura de títulos e resumos, com posterior leitura na íntegra daqueles considerados pertinentes ao tema. Ao final do processo, 48 artigos atenderam aos critérios de inclusão. Esses estudos foram analisados de forma descritiva e crítica quanto aos seus objetivos, desenho metodológico, contexto de aplicação (experimental ou clínico), principais achados e implicações para a prática de controle de infecções. A síntese dos resultados buscou integrar aspectos estruturais e fisiológicos do

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

biofilme, mecanismos de resistência a desinfetantes e evidências sobre tecnologias emergentes para seu controle em ambientes hospitalares.

RESULTADOS

O controle de biofilmes em ambientes hospitalares exige abordagens mais avançadas do que a simples aplicação de desinfetantes convencionais. A matriz extracelular que compõe o biofilme funciona como uma barreira protetora, reduzindo a penetração de biocidas e permitindo que microrganismos sobrevivam mesmo após a limpeza de rotina. Nesse cenário, novas estratégias tecnológicas e mudanças nas práticas de higienização vêm sendo implementadas para aumentar a eficácia do controle microbiano[23].

Entre as alternativas com maior evidência, destacam-se as nanopartículas metálicas, como prata e óxido de zinco. Essas partículas são capazes de penetrar no biofilme, desestabilizar sua estrutura e causar dano direto à membrana celular bacteriana. Estudos demonstram redução significativa da biomassa de biofilmes formados por Pseudomonas aeruginosa e Staphylococcus epidermidis, inclusive em isolados multirresistentes[23],[24].

Outra estratégia envolve o uso de enzimas capazes de degradar a matriz extracelular do biofilme, como a Dispersin B, cuja aplicação promove desagregação do biofilme e aumenta a sensibilidade das bactérias a antibióticos e desinfetantes[25],[26]. Estudos com biossurfactantes, como ramnolipídios, também demonstram eficácia na redução da adesão bacteriana a superfícies e na dispersão do biofilme, configurando uma alternativa promissora para superfícies de alto toque em hospitais[27],[28].

Além das soluções químicas e biológicas, tecnologias físicas vêm ganhando destaque. Sistemas de desinfecção sem contato, especialmente a luz UV-C e LED UV, apresentam ação germicida por meio da destruição do DNA ou RNA microbiano. Estudos mostram que o uso de dispositivos UV-C em quartos hospitalares reduz significativamente a carga microbiana de superfícies e complementa a limpeza manual, sendo eficaz inclusive contra microrganismos multirresistentes e Clostridioides difficile[29],[30]. Revisões sistemáticas reforçam que equipamentos automatizados de desinfecção sem contato diminuem a contaminação ambiental e o risco de infecções hospitalares[31].

Mesmo com novas tecnologias, a eficácia da desinfecção ainda depende da qualidade do processo manual. Estudos mostram que biofilmes permanecem em superfícies hospitalares mesmo após limpeza frequente, indicando que o desinfetante, isoladamente, não é capaz de remover o biofilme. Por isso, recomenda-se a combinação de ação mecânica (fricção), escolha adequada do agente químico e tempo de contato correto, de modo a favorecer a quebra da

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

barreira física criada pelo biofilme[32,33]. Essas estratégias, por sua vez, apenas funcionam de forma plena quando associadas à educação continuada de profissionais de saúde, uma vez que a correta aplicação dos protocolos depende de treinamento constante. Estudos em unidades de terapia intensiva mostram que falhas operacionais são determinantes para a permanência de microrganismos em superfícies, mesmo após a desinfecção[33].

Quadro 1. Tecnologias e evidências para o controle de biofilmes em ambientes hospitalares:

Cepa	Ativo	Evidência Clinica	Referências
Pseudomonas aeruginosa	Nanopartículas de prata	Redução da biomassa do biofilme e dano estrutural, incluindo cepas multirresistentes.	Rai et al.,2012 (23) Kalishwaralal et al.,2010 (24)
Staphylococcus epidermidis	Nanopartículas de prata	Redução da densidade do biofilme e desestabilização da matriz.	Kalishwaralal et al.,2010 (24)
Diversas cepas formadoras de biofilme	Dispersin B	Degradação da matriz extracelular e aumento da suscetibilidade aos desinfetantes	Kaplan, 2010: (25) Barraud et al., 2015 (26)
S. aureus e S. epidermidis	Biossurfactantes (ramnolipídios)	Redução da adesão bacteriana e dispersão do biofilme.	Dusane et al., 2014 (27) Ceresa et al., 2020 (28)
Diversos microrganismos	Luz UV-C / LED UV	Redução da carga microbiana e eficácia complementar à limpeza manual.	Andersen et al., 2006 (29) Boyce et al., 2016 (30) Otter et al., 2013 (31)
Biofilmes em superficies de UTI	Fricção + agente químico adequado	Persistência associada a falhas operacionais	Ribeiro et al., 2019 (33)
Diversas cepas ambientais	Educação Continuada	Treinamento reduz falhas e minimiza permanência de biofilmes	Ribeiro et al., 2019 (33)

Fonte: Elaborado pela autores (2025).

DISCUSSÃO

BIOFILME BACTERIANO

O biofilme é uma comunidade de microrganismos, como bactérias, capazes de viver e se reproduzir como uma entidade coletiva organizada. Em outras palavras, os biofilmes representam uma biomassa viva com uma estrutura social altamente sofisticada, ainda em processo de completa compreensão pela comunidade científica. Essa estrutura serve tanto para

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

proteger quanto para permitir a expansão da colônia microbiana. Sabe-se que existe uma relação simbiótica entre procariontes e eucariontes, ou entre organismos unicelulares e multicelulares, que em geral é mutuamente benéfica[34].

O corpo humano é composto por um microbioma extenso e complexo, formado por bactérias, fungos e vírus. A maior parte dessa microbiota está localizada no trato gastrointestinal, nas mucosas e na pele, desempenhando funções fisiológicas que vão desde o metabolismo até a imunidade inata. Entretanto, sob determinadas condições, o crescimento descontrolado desses microrganismos simbióticos pode resultar em infecções e na subsequente formação de biofilmes[34]. Ao longo de sua evolução, as bactérias passaram a existir em dois estados distintos: o planctônico (de vida livre) e o séssil (aderido à superfícies). A transição entre esses estados é essencial para o estabelecimento e a persistência dos biofilmes, principalmente em ambientes hospitalares e em dispositivos médicos[34].

A formação da arquitetura tridimensional do biofilme é um processo de etapas, que envolve adsorção inicial, adesão celular, formação de microcolônias, maturação e dispersão[35]. Interfaces sólido-líquido, como superfícies úmidas em contato com sangue, secreções ou soluções aquosas, criam o ambiente ideal para a fixação e o crescimento microbiano. A densa associação das células dentro do biofilme favorece a criação de gradientes de nutrientes, a troca de material genético e o fenômeno de quorum sensing (QS), que regula a comunicação bacteriana e a expressão gênica coletiva[35].

DESINFETANTES HOSPITALARES

Os desinfetantes hospitalares são ferramentas indispensáveis no controle de microrganismos patogênicos em ambientes clínicos e hospitalares. Sua aplicação visa reduzir a carga microbiana em superfícies, instrumentos e áreas críticas, prevenindo a disseminação de agentes infecciosos e, consequentemente, as infecções relacionadas à assistência à saúde (IRAS)[36]. Os compostos químicos têm papel essencial na quebra da cadeia de transmissão de patógenos resistentes, como Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa e Acinetobacter baumannii, frequentemente associados a surtos hospitalares. As principais classes de desinfetantes incluem álcool etílico ou isopropílico, hipoclorito de sódio, quaternários de amônio, glutaraldeído e peróxido de hidrogênio, cada uma com mecanismos específicos de ação[36].

O álcool atua desnaturando proteínas e dissolvendo lipídios da membrana celular, sendo eficaz contra bactérias vegetativas, mas pouco ativo na presença de matéria orgânica e ineficaz contra esporos. O hipoclorito de sódio, amplamente utilizado pela sua relação custo-benefício, age por oxidação de componentes celulares e inativação enzimática, apresentando amplo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

espectro de ação contra vírus, fungos e bactérias, embora seja instável à luz e ao calor. Os quaternários de amônio são tensoativos catiônicos que comprometem a permeabilidade da membrana citoplasmática, causando lise celular; contudo, podem ter sua eficácia reduzida na presença de sabões e detergentes aniônicos[36]. O glutaraldeído é um potente agente alquilante, capaz de desestabilizar proteínas e ácidos nucleicos, sendo indicado para a desinfecção de alto nível em instrumentos sensíveis ao calor. Já o peróxido de hidrogênio age pela liberação de radicais hidroxila (OH·), que atacam membranas, DNA e outros componentes celulares vitais, apresentando excelente desempenho contra bactérias esporuladas e microrganismos multirresistentes[36],[37].

Novas formulações têm sido estudadas, incluindo compostos à base de ácido peracético, nanopartículas metálicas e combinações enzimáticas, que visam aprimorar a eficiência antimicrobiana e reduzir o impacto ambiental dos desinfetantes convencionais[38]. Esses agentes apresentam vantagens por manter atividade mesmo na presença de matéria orgânica e biofilmes, além de reduzir a necessidade de concentrações elevadas de produtos tóxicos. Contudo, um dos principais desafios enfrentados em ambientes hospitalares é a redução da eficácia desses desinfetantes frente à presença de biofilmes. A matriz extracelular polimérica dos biofilmes age como uma barreira difusional, dificultando a penetração das substâncias ativas e permitindo a sobrevivência de bactérias no interior das colônias[34],[37].

Estudos demonstram que microrganismos em biofilme podem apresentar resistência até mil vezes maior aos desinfetantes em comparação às células planctônicas, o que evidencia a necessidade de protocolos de limpeza combinados, uso rotativo de agentes e emprego de tecnologias complementares, como ozonização, radiação ultravioleta e nanopartículas antimicrobianas[38],[39]. Assim, embora os desinfetantes continuem sendo uma ferramenta essencial de controle microbiológico, seu uso isolado é insuficiente em ambientes com presença consolidada de biofilmes, reforçando a importância da integração entre higienização física, controle químico e capacitação contínua de profissionais[38],[39].

EFEITOS DO BIOFILME NA RESISTÊNCIA

O biofilme bacteriano é reconhecido como um dos principais fatores que contribuem para a resistência microbiana frente a desinfetantes e antimicrobianos. Essa resistência não se limita à presença de genes específicos, mas resulta de uma combinação de barreiras físicas, químicas e fisiológicas que dificultam a penetração e a ação dos agentes biocidas[40],[41] (Figura 1).

A matriz extracelular polimérica (EPS), composta principalmente por polissacarídeos, proteínas e DNA extracelular, funciona como um escudo protetor que retém e neutraliza parte

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

dos desinfetantes, reduzindo significativamente sua concentração efetiva no interior do biofilme[42]. Dessa forma, a penetração das substâncias ativas é retardada, permitindo que as bactérias mais profundas sobrevivam, mesmo após a exposição prolongada a biocidas potentes. Além dessa barreira física, o biofilme cria um microambiente heterogêneo, caracterizado por gradientes de oxigênio, pH e nutrientes. Esse ambiente irregular resulta em diferentes níveis de atividade metabólica entre as células, o que gera subpopulações bacterianas em estado de dormência ou de baixo metabolismo, menos suscetíveis à ação de desinfetantes que dependem de processos celulares ativos[37],[43].

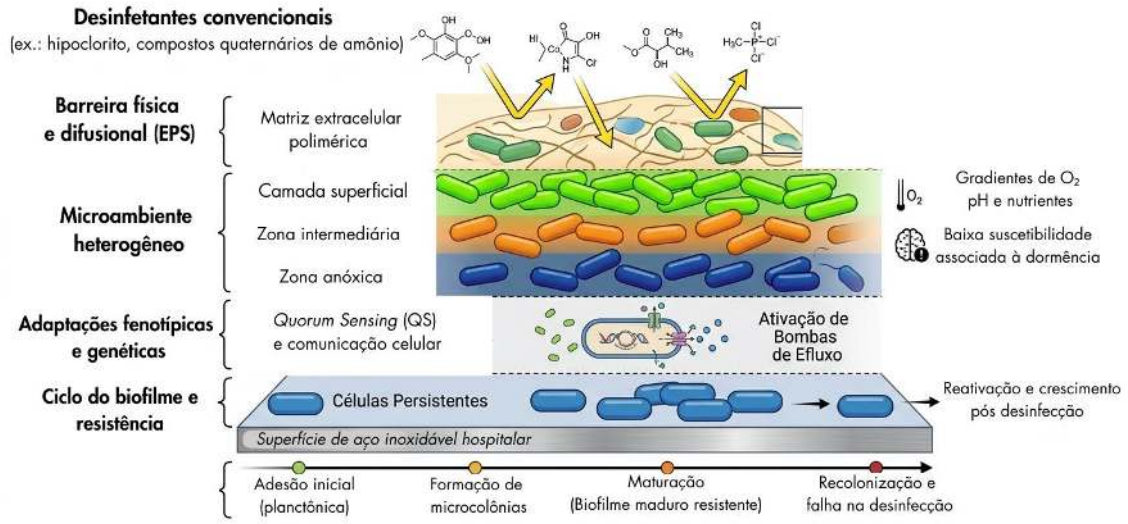
Outro fator crucial é a adaptação fenotípica e genética promovida por sistemas de comunicação intercelular, como o quorum sensing (QS). Esse mecanismo regula a expressão de genes relacionados à produção da matriz extracelular, à síntese de enzimas neutralizadoras (como catalases e peroxidases) e à ativação de bombas de efluxo, que expulsam compostos tóxicos do interior celular. Tais adaptações tornam o biofilme um ambiente cooperativo e altamente resiliente, capaz de resistir a múltiplos agentes antimicrobianos[41],[44].

As células em biofilme também podem originar células persistentes, uma subpopulação metabolicamente inativa e altamente tolerante a condições adversas. Mesmo após a desinfecção, essas células sobrevivem e, quando o ambiente se torna novamente favorável, reativam o crescimento bacteriano, facilitando a recolonização da superfície e o reaparecimento do biofilme[39],[43]. As células planctônicas, por sua vez, são aquelas que vivem em suspensão e não aderidas a superfícies, sendo mais vulneráveis por carecerem das defesas estruturais e metabólicas que o biofilme proporciona. Por isso, a presença de biofilmes em ambientes hospitalares representa um desafio constante, dificultando a erradicação microbiana e aumentando a probabilidade de infecções persistentes e recidivas[39],[44].

Os efeitos do biofilme na resistência vão muito além da simples tolerância química: envolvem um conjunto de mecanismos coordenados de proteção, comunicação e sobrevivência. Essa complexidade explica por que a desinfecção convencional, ainda que eficaz em nível superficial, é muitas vezes incapaz de eliminar completamente os microrganismos protegidos pela matriz do biofilme, exigindo o uso de novas tecnologias e estratégias combinadas de controle[39–41],[44].

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Mecanismos pelos quais o biofilme reduz a eficácia de desinfetantes hospitalares:



Fonte: imagem gerada por IA (Nano Banana 2), com modificações dos autores (2025).

IMPLICAÇÕES CLÍNICAS E EPIDEMIOLÓGICAS

A presença de biofilmes em ambientes hospitalares representa um desafio crítico para o controle de infecções. Bactérias presentes em biofilme demonstram sensibilidade drasticamente reduzida aos desinfetantes, quando comparadas às mesmas bactérias em estado planctônico. Estudos mostram que cepas clínicas apresentam menor sensibilidade aos desinfetantes do que cepas de referência, evidenciando um padrão de resistência mais elevado entre isolados hospitalares[45]. Além da baixa eficácia dos desinfetantes, a situação se agrava porque muitas dessas bactérias produtoras de biofilme também são multirresistentes a antibióticos[45]. A literatura demonstra que os biofilmes aumentam a resistência antimicrobiana por mecanismos como o retardamento da penetração do agente químico e a alteração do metabolismo celular[46].

As infecções associadas à assistência à saúde (IAAS) constituem o evento adverso mais frequente em hospitais e estão fortemente relacionadas à persistência de microrganismos em superfícies críticas. Estudos relatam que a presença de agentes multirresistentes em unidades de terapia intensiva (UTI) estão associadas ao aumento da mortalidade, à permanência hospitalar prolongada e a maiores custos para o sistema de saúde[47]. O cenário torna-se ainda mais preocupante quando se analisa a contaminação ambiental: em UTIs, biofilmes foram

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

identificados em 100% das superfícies de alto toque, e o índice de superfícies contaminadas permaneceu inalterado mesmo com limpeza realizada duas vezes ao dia[48]. Além disso, bactérias em biofilme podem ser de 100 a 250 vezes mais resistentes a biocidas quando comparadas às células planctônicas[46].

Essa resistência está diretamente relacionada à matriz extracelular do biofilme, composta por polissacarídeos extracelulares (EPS), que formam uma barreira heterogênea capaz de dificultar tanto a remoção mecânica quanto a penetração de agentes químicos. Biofilmes em hospitais favorecem a persistência de bactérias patogênicas, alimentam surtos de IAAS e limitam a eficácia da limpeza e desinfecção. Em ambientes críticos como a UTI, o biofilme transforma superfícies aparentemente “limpas” em reservatórios invisíveis de microrganismos de alto risco[48].

CONSIDERAÇÕES

Esta revisão narrativa ampliada evidenciou que a matriz extracelular dos biofilmes bacterianos confere uma resistência significativa e multifatorial aos desinfetantes utilizados em ambientes hospitalares, limitando a eficácia da higienização de rotina e mantendo um risco persistente para as Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS). A organização tridimensional do biofilme, associada à formação de microambientes heterogêneos, à presença de células persistentes e à ativação de mecanismos de defesa bacteriana, torna os microrganismos em biofilme substancialmente menos suscetíveis à ação de biocidas quando comparados às células planctônicas.

As evidências da literatura apontam para a necessidade de uma abordagem integrada, capaz de reunir tecnologias inovadoras, como nanopartículas metálicas, enzimas despolimerizadoras, biossurfactantes e sistemas de desinfecção UV-C, que atuem diretamente sobre a estrutura e os mecanismos de resistência do biofilme. No entanto, o sucesso dessas tecnologias depende, de forma decisiva, da qualidade dos processos operacionais. O controle efetivo de biofilmes exige a combinação entre ação mecânica adequada, seleção correta do agente químico, tempo de contato apropriado e adesão rigorosa aos protocolos de limpeza e desinfecção.

Além disso, a capacitação permanente das equipes de saúde é elemento indispensável para garantir a aplicação consistente dessas estratégias na prática diária. Integrar inovação tecnológica com excelência operacional e educação continuada constitui a estratégia mais promissora para reduzir a persistência de biofilmes em ambientes hospitalares e fortalecer a segurança do paciente nos serviços de saúde.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REFERÊNCIAS

1. Pittet D, Tarara D, Wenzel RP. Nosocomial bloodstream infection in critically ill patients: excess length of stay, extra costs and attributable mortality. JAMA. 1994;271(20):1598-601. doi:10.1001/jama.271.20.1598.
2. Donskey CJ. Does improving surface cleaning and disinfection reduce health care-associated infections? Am J Infect Control. 2013;41(5 Suppl):S12-9.
3. Hall-Stoodley L, et al. Biofilm formation and dispersal and the transmission of human pathogens. Trends Microbiol. 2005;13(1):7-10.
4. Stoodley P, et al. Biofilms as complex differentiated communities. Annu Rev Microbiol. 2002;56:187-209. doi:10.1146/annurev.micro.56.012302.160705.
5. Flemming HC, Wingender J. The biofilm matrix. Nat Rev Microbiol. 2010;8(9):623-33. doi:10.1038/nrmicro2415.
6. Lindsay D, Von Holy A. Bacterial biofilms within the clinical setting: what healthcare professionals should know. J Hosp Infect. 2006;64(4):313-25. doi:10.1016/j.jhin.2006.06.028.
7. Wagenvoort JH, et al. Environmental survival of vancomycin-resistant Enterococcus faecium. J Hosp Infect. 2011;77(3):282-3.
8. Donlan RM, Costerton JW. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. Clin Microbiol Rev. 2002;15(2):167-93. doi:10.1128/CMR.15.2.167-193.2002.
9. Gupta P, et al. Biofilm, pathogenesis and prevention – a journey to break the wall: a review. Arch Microbiol. 2016;198(1):1-15. doi:10.1007/s00203-015-1148-6.
10. Hoiby N, et al. Antibiotic resistance of bacterial biofilms. Int J Antimicrob Agents. 2010;35(4):322-32.
11. Yousif A, Jamal MA, Raad I. Biofilm-based central line-associated bloodstream infections. Adv Exp Med Biol. 2015;830:157-79. doi:10.1007/978-3-319-11038-7_10.
12. Donelli G, Vuotto C. Biofilm-based infections in long-term care facilities. Future Microbiol. 2014;9(2):175-88. doi:10.2217/fmb.13.149.
13. Yu FP, et al. A direct viable count method for enumeration of attached bacteria and assessment of biofilm disinfection. J Microbiol Methods. 1993;17(3):167-80.
14. Peng JS, et al. Inactivation and removal of Bacillus cereus by sanitizer and detergent. Int J Food Microbiol. 2002;77(1-2):11-8.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

15. Joseph B, et al. Biofilm formation by Salmonella spp. on food contact surfaces and their sensitivity to sanitizers. Int J Food Microbiol. 2001;64(3):367-72.
16. Williamson AE, et al. Antimicrobial susceptibility of monoculture biofilms of a clinical isolate of Enterococcus faecalis. J Endod. 2009;35(7):953-7.
17. Messina G, et al. Environmental decontamination by novel technologies: ultrasound, UV, ozone. Ann Ig. 2017;29(6):501-12. doi:10.7416/ai.2017.2186.
18. Amodeo D, et al. Efficacy of Violet-Blue (405 nm) LED lamps for disinfection of high-environment-contact surfaces in healthcare facilities. Pathogens. 2023;12(11):1338. doi:10.3390/pathogens12111338.
19. Harbarth S, et al. Does infection control reduce antibiotic resistance? A systematic review. Lancet Infect Dis. 2014;14(2):131-41. doi:10.1016/S1473-3099(13)70211-5.
20. Maillard JY, Centeleghe I. How biofilm changes our understanding of cleaning and disinfection. Antimicrob Resist Infect Control. 2023;12:95. doi:10.1186/s13756-023-01290-4.
21. Tezel U, Pavlostathis SG. Quaternary ammonium disinfectants: microbial adaptation, degradation and ecology. Curr Opin Biotechnol. 2015;33:296-304. doi:10.1016/j.copbio.2015.03.018.
22. Loveday HP, et al. Pseudomonas infection and healthcare water systems – a rapid systematic review. J Hosp Infect. 2014;86(1):7-15.
23. Rai MK, et al. Silver nanoparticles: the powerful nanoweapon against multidrug-resistant bacteria. J Appl Microbiol. 2012;112(5):841-52. doi:10.1111/j.1365-2672.2012.05253.x.
24. Kalishwaralal K, et al. Silver nanoparticles impede biofilm formation by Pseudomonas aeruginosa and Staphylococcus epidermidis. Colloids Surf B. 2010;79(2):340-4. doi:10.1016/j.colsurfb.2010.04.014.
25. Kaplan JB. Biofilm dispersal: mechanisms, clinical implications, and potential therapeutic uses. J Dent Res. 2010;89(3):205-18. doi:10.1177/0022034509359403.
26. Barraud N, et al. Dispersal mechanisms in biofilms: enzymes and small molecule effectors. Commun Integr Biol. 2015;8(1):e27116. doi:10.4161/19420889.2014.27116.
27. Dusane DH, et al. Anti-biofilm potential of a biosurfactant produced by a marine bacterium. Biofouling. 2014;30(3):347-58. doi:10.1080/08927014.2013.875896.
28. Ceresa C, et al. In vitro antibiofilm activity of biosurfactants against Staphylococcus aureus and Staphylococcus epidermidis. Biofouling. 2020;36(8):984-95. doi:10.1080/08927014.2020.1838042.
29. Andersen BM, et al. Floor cleaning: effect of different disinfectants and new scrubbing

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

machines. J Hosp Infect. 2006;62(3):360-7. doi:10.1016/j.jhin.2005.08.013.

30. Boyce JM, et al. Impact of room decontamination using UV-C light on hospital infections. Infect Control Hosp Epidemiol. 2016;37(1):21-7. doi:10.1017/ice.2015.246.
31. Otter JA, et al. The role of “no-touch” automated room disinfection systems in infection prevention and control. J Hosp Infect. 2013;83(1):1-13. doi:10.1016/j.jhin.2012.10.002.
32. Parvin F, et al. The difficulty in removing biofilms from dry surfaces. J Hosp Infect. 2019;103:465-7. doi:10.1016/j.jhin.2019.07.005.
33. Ribeiro L, et al. Microbial community profiling in intensive care units exposes limitations in current sanitary standards. Front Public Health. 2019;7:240. doi:10.3389/fpubh.2019.00240.
34. Bjarnsholt T, et al. Applying insights from biofilm biology to drug development—Can a new approach be developed? Nat Rev Drug Discov. 2013;12:791–808. doi:10.1038/nrd4000.
35. Wassmann T, et al. Influence of surface texture and wettability on bacterial adhesion on titanium and zirconium oxide implants. Int J Implant Dent. 2017;3:32. doi:10.1186/s40729-017-0093-3.
36. Disinfectants and antiseptics: mechanisms of action and resistance. Springer Nature. 2023. doi:10.1007/s00253-023-12977-1.
37. Smith K, Hunter IS. Efficacy of common hospital biocides against biofilms of multidrug-resistant organisms. J Hosp Infect. 2008;70(2):171-7. doi:10.1016/j.jhin.2008.06.002.
38. Ortega-Rivas E, Blanco-Prieto MJ. Advances in peracetic acid and hydrogen peroxide disinfectants. Front Public Health. 2022;10:987654. doi:10.3389/fpubh.2022.987654.
39. Zhang L, et al. Synergistic disinfection using metal nanoparticles and ozone. J Hosp Infect. 2024;146:12-21. doi:10.1016/j.jhin.2024.04.002.
40. Bridier A, Briandet R, Dubois-Brissonnet F. Resistance of bacterial biofilms to disinfectants. Biofouling. 2011;27(9):1017–32. doi:10.1080/08927014.2011.626899.
41. Nkemngong C, Teska P. Biofilms, mobile genetic elements and persistence of pathogens. Front Microbiol. 2024;15:1405428. doi:10.3389/fmicb.2024.1405428.
42. Costerton JW, et al. Microbial biofilms. Annu Rev Microbiol. 1995;49:711–45. doi:10.1146/annurev.mi.49.100195.003431.
43. Sonderholm M, et al. Microenvironmental conditions governing antibiotic tolerance. Int J Mol Sci. 2017;18(12):2688. doi:10.3390/ijms18122688.
44. Otter JA, Yezli S, Perl TM. Surface-attached cells, biofilms and biocide susceptibility. J Hosp Infect. 2015;89(1):1–7. doi:10.1016/j.jhin.2014.09.008.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

45. Bhattacharyya P, et al. Association of biofilm production with multidrug resistance in ICU strains. Indian J Crit Care Med. 2013;17:214–8. doi:10.4103/0972-5229.118416.
46. Fux CA, Costerton JW, Stewart PS, Stoodley P. Survival strategies of infectious biofilms. Trends Microbiol. 2005;13:34–40. doi:10.1016/j.tim.2004.11.010.
47. Bhatta DR, et al. Burden of multidrug resistant respiratory pathogens in ICUs. Asian J Med Sci. 2019;10:14–19. doi:10.3126/ajms.v10i2.21098.
48. Costa DM, et al. Biofilm contamination of high-touched surfaces in ICUs. Lett Appl Microbiol. 2019;68:269–76. doi:10.1111/lam.13127.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.