



Eficácia da Terapia Fotodinâmica com Azul de Metileno Contra *Enterococcus faecalis*: Revisão Detalhada de Protocolos e Resultados

Marco Antônio Franco Cançado¹, Francielle Nunes de Lira Cunha², Raysse Ferreira Campos³, Tiago Henrique Damião de Souza⁴, Eryca Raylla da Silva Leite Teixeira⁵, Roseane Guimarães Nogueira dos Santos⁶, Bruna Cordeiro Cupertino⁷, Gabriela Cristina Baccaro⁸, Ana Claudia Pereira de Carvalho Fukushima⁹, Bruna Carolina Santos da Silva¹⁰, Mauricio Santos Souza¹¹, Ana Carine Barros Almeida¹², Ana Cristina Valim Meira¹³, Alzir Almeida de Moura Neto¹⁴, Francisco das Chagas Santos Junior¹⁵, Amanda Cypriano Alves¹⁶, San Diego Oliveira Souza¹⁷



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n4p908-921>

Artigo recebido em 08 de Março e publicado em 18 de Abril de 2025

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

Introdução: *Enterococcus faecalis*, uma bactéria gram-positiva anaeróbica facultativa, é frequentemente associada a infecções endodônticas secundárias e persistentes. A terapia fotodinâmica (TFD) vem se estabelecendo como uma estratégia inovadora e eficaz no combate a microrganismos resistentes. Diversos estudos têm avaliado protocolos de TFD mediada por azul de metileno contra *E. faecalis*, ajustando variáveis como concentração do fotossensibilizante. Contudo, a ausência de padronização e a variedade de abordagens dificultam a comparação dos resultados e a definição de diretrizes clínicas consolidadas. **Objetivos:** Revisar minuciosamente os protocolos empregados na terapia fotodinâmica mediada por azul de metileno para o combate a *E. faecalis* nos últimos 10 anos, ressaltando as principais estratégias, parâmetros operacionais e resultados obtidos, bem como verificando os avanços alcançados nesses protocolos. **Metodologia:** Realizou-se uma revisão integrativa da literatura, com buscas na base de dados MEDLINE (via PubMed), incluindo estudos que abordaram concentrações de AM, tempos de irradiação, quantidade de joules e combinações com adjuvantes contra *E. faecalis*. **Resultados:** A terapia fotodinâmica com azul de metileno mostrou eficácia contra *E. faecalis*, especialmente com laser de 660 nm e adjuvantes (KI, H₂O₂), alcançando reduções de até 98,3% na carga bacteriana, destacando-se como terapia coadjuvante promissora na desinfecção endodôntica. **Conclusão:** A otimização de concentrações, tempo de irradiação e adjuvantes é crucial para resultados consistentes, posicionando a TFD como terapia coadjuvante promissora, minimamente invasiva e adaptável a desafios endodônticos complexos.

Palavras-chave: Terapia Fotodinâmica, Azul de Metileno, *Enterococcus faecalis*, Endodontia,

Laserterapia, Biofilme.

Efficacy of Methylene Blue-Mediated Photodynamic Therapy Against *Enterococcus faecalis*: A Comprehensive Review of Protocols and Outcomes

ABSTRACT

Introduction: *Enterococcus faecalis*, a gram-positive facultative anaerobic bacterium, is frequently associated with secondary and persistent endodontic infections. Photodynamic therapy (PDT) has emerged as an innovative and effective strategy to combat resistant microorganisms. Several studies have evaluated methylene blue-mediated PDT protocols against *E. faecalis*, adjusting variables such as photosensitizer concentration. However, the lack of standardization and the diversity of approaches hinder the comparison of results and the establishment of consolidated clinical guidelines. **Objectives:** To thoroughly review the protocols employed in methylene blue-mediated photodynamic therapy for combating *E. faecalis* over the past 10 years, highlighting key strategies, operational parameters, and outcomes, as well as assessing advancements in these protocols. **Methods:** An integrative literature review was conducted using the MEDLINE database (via PubMed), including studies addressing methylene blue concentrations, irradiation times, energy doses (joules), and combinations with adjuvants against *E. faecalis*. **Results:** Photodynamic therapy with methylene blue demonstrated efficacy against *E. faecalis*, particularly when using a 660 nm laser and adjuvants (KI, H₂O₂), achieving reductions in bacterial load of up to 98.3%. This positions PDT as a promising adjunctive therapy for endodontic disinfection. **Conclusion:** The optimization of concentrations, irradiation time, and adjuvants is critical for achieving consistent results, positioning photodynamic therapy (PDT) as a promising adjunctive treatment—minimally invasive and adaptable to complex endodontic challenges.

Keywords: Photodynamic Therapy, Methylene Blue, *Enterococcus faecalis*, Endodontics, Laser Therapy, Biofilm.

Instituição afiliada – UniCEUB¹, UFPI^{2, 15}, UNIFSA³, UFSC⁴, UniFacema⁵, UNIGAMA⁶, UFJF⁷, UNICAMP⁸, FACUNICAMPS⁹, UFSC¹⁰, UNISANTA¹¹, Anhanguera¹², UDF¹³, Instituto Focus Grupo Educacional¹⁴, UFF¹⁶, UFMA¹⁷

Autor correspondente: Francielle Nunes de Lira Cunha franciellendl@gmail.com

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



INTRODUÇÃO

Enterococcus faecalis, uma bactéria gram-positiva anaeróbica facultativa, destaca-se como um patógeno de relevância clínica, sendo frequentemente detectado em infecções endodônticas secundárias e persistentes¹. Sua resistência a tratamentos convencionais e sua capacidade de adaptação a ambientes hostis reforçam sua importância nesse contexto². Infecções endodônticas, geralmente caracterizadas por comunidades bacterianas multiespécies, apresentam mecanismos patogênicos complexos que complicam o sucesso terapêutico. Essa inter-relação microbiana contribui para a manutenção e a recorrência das infecções, exigindo abordagens terapêuticas mais eficazes e direcionadas³.

A terapia fotodinâmica (TFD) vem se estabelecendo como uma estratégia inovadora e eficaz no combate a microrganismos resistentes, principalmente em cenários onde os tratamentos convencionais não alcançam os resultados desejados ou apresentam limitações notáveis. Fundamentada na interação entre um fotossensibilizante, luz de um comprimento de onda específico e oxigênio molecular, essa abordagem induz a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que promovem danos nas estruturas celulares dos microrganismos, culminando na sua inativação⁴.

Diversos estudos têm avaliado protocolos de TFD mediada por azul de metileno contra *E. faecalis*, ajustando variáveis como concentração do fotossensibilizante, fontes e doses de luz, tempos de incubação e métodos de avaliação de eficácia, com o objetivo de aprimorar sua eficiência. Contudo, a ausência de padronização e a variedade de abordagens dificultam a comparação dos resultados e a definição de diretrizes clínicas consolidadas.

Portanto, este artigo tem como objetivo revisar minuciosamente os protocolos empregados na terapia fotodinâmica mediada por azul de metileno para o combate a *Enterococcus faecalis* nos últimos 10 anos, ressaltando as principais estratégias, parâmetros operacionais e resultados obtidos, bem como verificar os avanços alcançados nesses protocolos.

METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma revisão integrativa da literatura, na qual a seleção dos artigos foi conduzida por meio de buscas na base de dados MEDLINE, utilizando a plataforma PubMed. Para a busca dos artigos, foram estabelecidos e utilizados os descritores em Ciências da Saúde (DeCS/MeSH): “Terapia Fotodinâmica” (*Photochemotherapy*), “Azul de Metileno” (*Methylene Blue*) e “*Enterococcus faecalis*”, que foram combinados entre si por meio do operador booleano “AND” com o objetivo de tornar os resultados mais específicos.

O processo de identificação e seleção dos artigos foi sistematizado e apresentado de maneira objetiva por meio de um fluxograma, conforme demonstrado na Figura 1. Esse processo foi estruturado em duas fases principais: (1) uma triagem preliminar, baseada na análise dos títulos e resumos dos estudos encontrados, e (2) uma etapa de avaliação aprofundada, que consistiu na leitura integral dos artigos selecionados.

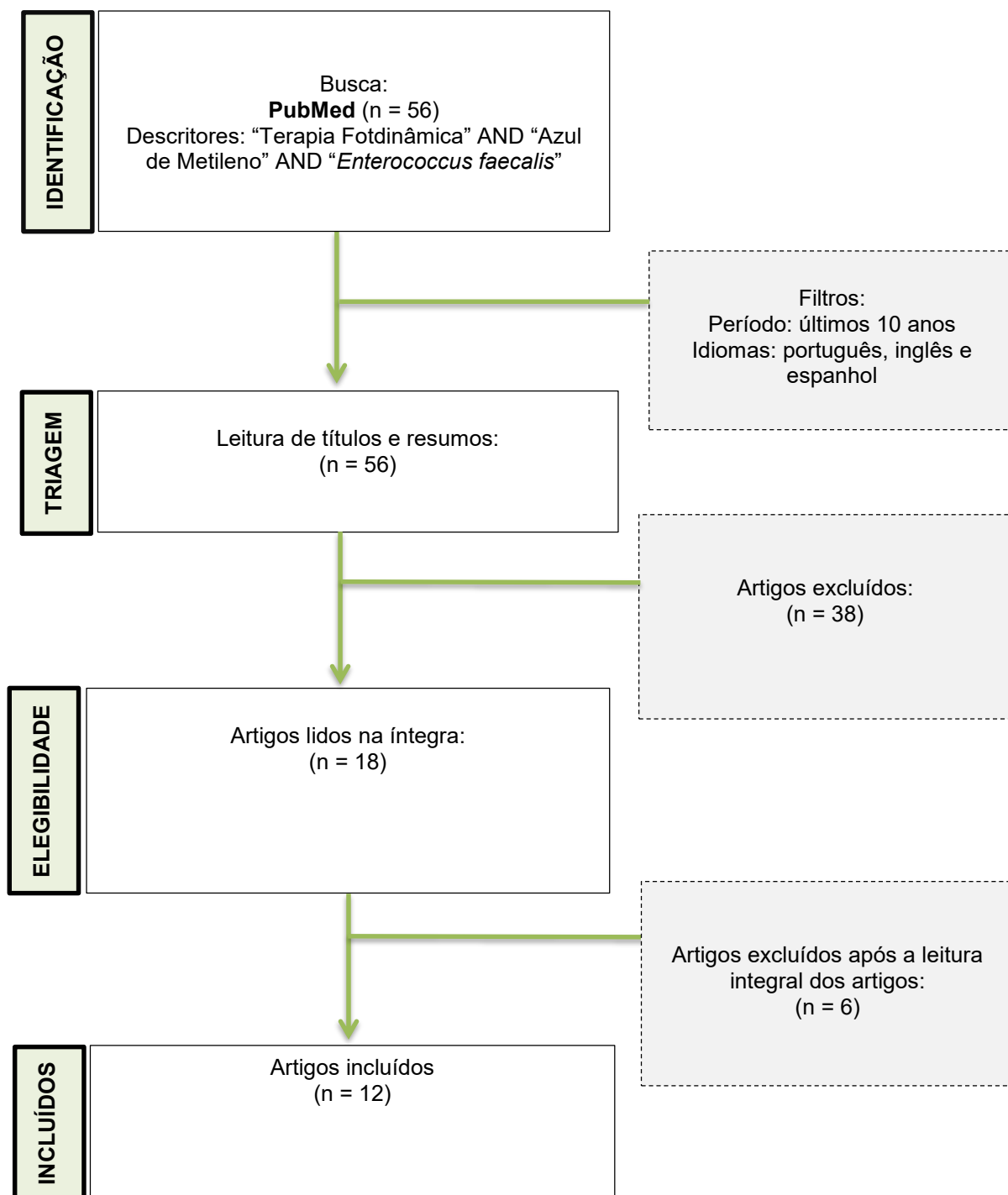
Foram incluídos nesta revisão estudos publicados nos últimos 10 anos, garantindo a consideração de pesquisas recentes e pertinentes, alinhadas com os avanços e as tendências atuais da área. Ademais, foram selecionados trabalhos redigidos em português, inglês e espanhol, visando ampliar a diversidade das fontes consultadas e proporcionar uma análise mais ampla e representativa da produção científica sobre o tema.

Foram excluídos do estudo os artigos que não atendiam aos critérios de inclusão previamente definidos, incluindo aqueles que tratavam apenas da eficácia da terapia fotodinâmica sem apresentar detalhes sobre o protocolo empregado, trabalhos que utilizaram fotossensibilizadores diferentes do azul de metileno, bem como estudos que não investigaram especificamente a ação contra *Enterococcus faecalis*. Além disso, teses, dissertações e livros também foram desconsiderados durante o processo de seleção.

As informações coletadas foram organizadas em tabelas, registrando título, autor(es), ano, concentração e forma de aplicação do azul de metileno, técnica empregada na terapia fotodinâmica e os resultados obtidos. Em seguida, os estudos foram analisados criticamente para identificar os principais protocolos usados na terapia

fotodinâmica mediada por azul de metileno contra *Enterococcus faecalis*, considerando parâmetros como concentração do fotossensibilizante, fontes de luz, tempo de exposição e métodos de aplicação.

Figura 1. Etapas de identificação, triagem, seleção e inclusão dos artigos.



Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta revisão de literatura, foram incluídos 12 estudos publicados entre 2015 e 2025 que investigaram a aplicação da terapia fotodinâmica mediada por azul de metileno para combater o *Enterococcus faecalis*. Esses estudos apresentam ampla diversidade nos protocolos empregados, variando desde as concentrações do fotossensibilizante (azul de metileno), até os parâmetros da fonte de luz, como tipo de laser, potência, tempo de exposição e densidade de energia aplicada. Também foram observadas diferenças quanto aos tempos de incubação do AM e aos métodos utilizados para avaliar a eficácia antimicrobiana. Parte dos trabalhos avaliou a TFD em combinação com agentes potencializadores, como iodeto de potássio ou peróxido de hidrogênio, evidenciando avanços importantes na otimização da técnica.

A maior parte dos estudos analisados relatou resultados positivos na redução ou eliminação de *E. faecalis*, tanto em sua forma planctônica quanto em biofilmes, embora um estudo tenha apontado limitações na eficácia dependendo das condições experimentais. A Figura 2 sintetiza de forma detalhada os protocolos, as técnicas empregadas e os resultados obtidos em cada estudo, constituindo uma base para as discussões e conclusões desta revisão.

Figura 2. Protocolos de terapia fotodinâmica mediada por azul de metileno aplicados contra *Enterococcus faecalis* nos últimos 10 anos: concentrações utilizadas, técnicas empregadas e principais resultados obtidos.

Autores/ Ano de Publicação	Estudo	Concentrações do Azul de Metileno	Especificações da TFD	Principais Resultados
Hawryluk et al., ⁵ (2025)	Susceptibility of bacterial species commonly found in abdominal abscesses to low-dose photodynamic therapy: Effects of methylene blue concentration,	A concentração de AM foi variada de 50 a 300 µg/mL.	A taxa de fluência do laser foi variada de 1 a 4 mW/cm ² a uma fluência de 7,2 J/cm ² .	Bactérias gram-positivas (<i>E. faecalis</i> e <i>S. aureus</i>) foram erradicadas em todas as concentrações de AM e taxas de fluência de laser testadas.

	fluence rate, and fluence			
Du et al., ⁶ (2025)	Killing effect of antibacterial photodynamic therapy with long-term exposure against young and mature <i>Enterococcus faecalis</i> biofilms in dentin	Cada amostra no grupo aPDT com 0,01% AM foi tratada com 300 µL de 0,01% AM por 5 min em incubação escura.	Foi utilizado laser com um comprimento de onda de 660 nm por 3, 12 e 30 min. A energia máxima de saída foi de 50 mW. A energia total para cada período de tempo foi de 9, 36 e 90 J.	TFD com 0,01% de AM tem a capacidade de destruir células bacterianas em biofilmes de <i>E. faecalis</i> na dentina. Biofilmes jovens de <i>E. faecalis</i> em canais dentinários foram mais suscetíveis a abordagens de desinfecção do que biofilmes maduros.
Chohan et al., ⁷ (2024)	Investigations of the Antimicrobial Effectiveness of Different Disinfection Protocols Against Endodontic Pathogens in Root Canal Systems	Como fotossensibilizador foi utilizado azul de metileno, porém o estudo não especificou em qual concentração.	Foi utilizado laser de diodo (660 nm) por 9 minutos.	Neste estudo, a TFD apresentou maior eficácia que o uso de NaOCl contra <i>E. Faecalis</i> .
Tehrani et al., ⁸ (2024)	Comparison between three methods of diode laser 810 nm, photodynamic therapy with laser 660 nm, and hypochlorite solution for disinfection of pulp canal of primary teeth	Solução de azul de metileno 0,1 mg/mL.	PDT usando um diodo laser a 660 nm em um grupo e no outro grupo foi utilizada radiação direta de laser de alta intensidade de 810 nm.	A taxa de incidência de colônias de <i>E. faecalis</i> apresentou redução nos três grupos. No grupo com laser de alta intensidade de 810 nm, a redução foi de 68,4%; na PDT com diodo de 660 nm e azul de metileno, a redução foi de 88%; e no grupo com hipoclorito, a redução foi de 98,3% em comparação ao grupo controle negativo.
Yang e Chen ⁹ (2024)	In vitro effects of Er: YAG laser-activated photodynamic therapy on <i>Enterococcus faecalis</i> in root canal treatment	Foi utilizado uma solução contendo 50 µmol/L de azul de metileno.	PDT utilizando laser a 660 nm por 1 min ou YAG em um comprimento de onda de 2940 nm por 1 min com os parâmetros de 40 mj, 0,4 W, 10 Hz + laser de 660 nm por 1 min.	A combinação do laser YAG e PDT aumentou significativamente a eficácia bactericida contra <i>E. faecalis</i> .
Yavagal et al., ¹⁰ (2023)	Antibacterial Efficacy of Dual-dye and Dual Laser Photodynamic Therapy on Oral Biofilms of <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Streptococcus mutans</i> , and <i>Prevotella</i>	Solução contendo azul de metileno a 100 µg/mL.	PDT com laser vermelho a 640 nm com potência de 200 mW.	Os efeitos fotodinâmicos em <i>E. faecalis</i> indicaram uma redução significativa nas contagens bacterianas.

	<i>intermedia: An In Vitro Study</i>			
Li et al., ¹¹ (2021)	Effects of Rose Bengal- and Methylene Blue-Mediated Potassium Iodide-Potentiated Photodynamic Therapy on <i>Enterococcus faecalis</i> : A Comparative Study	Azul de metileno a (0.4 µM) nesse estudo foi realizado a potencialização com 100mM de Iodeto de Potássio. O tempo de pré-irradiação foi de 10 minutos.	PDT com laser vermelho a 6 J/cm ² .	A PDT antimicrobiana com AM (azul de metileno) e RB (rosa de bengala) em concentrações muito mais baixas, potencializadas com KI (Iodeto de potássio), pode alcançar efeitos de desinfecção comparáveis aos obtidos com hipoclorito de sódio a 1,5% (NaClO).
Yuan et al., ¹² (2020)	Potassium iodide enhances the photobactericidal effect of methylene blue on <i>Enterococcus faecalis</i> as planktonic cells and as biofilm infection in teeth	Foram testadas diversas concentrações de azul de metileno de 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 1, 2 µM e foi realizado a potencialização com Iodeto de Potássio (100 mM).	A PDT também foi testada em diversos parâmetros: 0, 6, 12, 18, 24 J/cm ² Luz de 660 nm.	Como resultado observou-se que adicionar Iodeto de potássio (100 mM) ao azul de metileno na TFD (0,4 µM para planctônico e 10 µM para biofilme) aumentou dramaticamente o efeito de esterilização contra <i>E. faecalis</i> com 6 J/cm ² (50 mw/cm ² , 2 minutos).
Soares et al., ¹³ (2018)	Exploring different photodynamic therapy parameters to optimize elimination of <i>Enterococcus faecalis</i> in planktonic form	Foi utilizada a concentração de 0.005 µg/mL de azul de metileno.	Diversas potencias de laser vermelho foram testadas: 2,4 a 24 J de energia.	Observou-se que o melhor resultado com foi obtido com 12J. A dose de energia, o volume da suspensão bacteriana e, principalmente, os ciclos de TDF otimizaram a eliminação bacteriana de <i>Enterococcus faecalis</i> na forma planctônica
Garcez et al., ¹⁴ (2017)	Methylene Blue and Hydrogen Peroxide for Photodynamic Inactivation in Root Canal - A New Protocol for Use in Endodontics	Diversas concentrações de azul de metileno foram testadas: 50, 100, 150 e 300 µM. Foi realizada a potencialização com 100 mM de solução de H ₂ O ₂ .	PDT realizada com laser diodo (energia de 9.6 J).	O uso de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) antes da terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) resultou em uma maior eficácia de desinfecção em comparação com a aPDT convencional ou quando o AM foi irradiado em uma solução de H ₂ O ₂ . A irradiação com energia de 9,6 J proporcionou uma redução significativa na carga microbiana, mas a aplicação de luz adicional não resultou em maior redução.

Sebrão et al., ¹⁵ (2017)	Comparison of the Efficiency of Rose Bengal and Methylene Blue as Photosensitizers in Photodynamic Therapy Techniques for <i>Enterococcus faecalis</i> Inactivation	Concentração de 0.01% (31.2 mol/L). Pré-irradiação de 5 min.	Laser vermelho (660 nm) irradiado por 3 min.	Para a concentração e intensidade do laser empregadas nos experimentos, o grupo azul de metileno não mostrou repetidamente redução significativa
López et al., ¹⁶ (2015)	Effects of photodynamic therapy on <i>Enterococcus faecalis</i> biofilms	Azul de metileno na concentração de 0.005%.	PDT com laser a 670 nm durante 30 s, a energia total de 8,4 J.	PDT induziu danos graves, incluindo lise celular, aos biofilmes de <i>E. faecalis</i> .

Fonte: Autores, 2025.

1. Concentrações de Azul de Metileno

Os estudos revisados apresentaram ampla variação nas concentrações de azul de metileno utilizadas, com valores entre 0,005 µg/mL (Soares et al., 2018¹³) e 300 µg/mL (Hawryluk et al., 2025⁵). A faixa mais frequente situou-se entre 0,01% equivalente a 31,2 µmol/L, conforme Sebrão et al., (2017)¹⁵ e 100 µg/mL (Yavagal et al., 2023¹⁰), com destaque para protocolos que combinaram AM em concentrações moderadas (50–150 µM) a parâmetros de irradiação otimizados, como energia de 9,6 J (Garcez et al., 2017¹⁴). Concentrações mais elevadas, como 0,1 mg/mL (Tehrani et al., 2024⁸), associaram-se a reduções significativas na carga bacteriana, até 88% em biofilmes.

Dosagens intermediárias, como 0,4 µM usadas por Li et al.¹¹ (2021) e 50 µmol/L por Yang e Chen⁹ (2024), demonstraram alta eficácia quando potenciadas por aditivos como iodeto de potássio (KI) ou peróxido de hidrogênio (H₂O₂), permitindo reduções bacterianas equivalentes a protocolos convencionais. Enquanto concentrações superiores a 100 µg/mL mostraram-se eficazes mesmo em biofilmes maduros¹⁰. Contudo, concentrações excessivas (300 µg/mL) não garantiram vantagens adicionais, sugerindo que a saturação do corante pode limitar a penetração em estruturas complexas, como dentina⁵. Essa heterogeneidade reforça a importância de equilibrar dosagem, tempo de exposição e adjuvantes para maximizar a eficácia antimicrobiana.

2. Parâmetros da Terapia fotodinâmica

Os estudos revisados empregaram lasers de diodo (640 nm - 810 nm) e laser Er:YAG (2940 nm), com predominância do comprimento de onda de 660 nm, amplamente utilizado por sua capacidade de ativar o azul de metileno e penetrar tecidos biológicos^{6 7 8 9 15}. A energia aplicada variou de 2,4 J (Soares *et al.*, 2018¹³) a 90 J (Du *et al.*, 2025⁶), com destaque para protocolos que alcançaram eficácia máxima em 6–24 J/cm². Por exemplo, Yuan *et al.*¹² (2020) observaram esterilização completa de *E. faecalis* com 6 J/cm² (50 mW/cm² por 2 minutos), enquanto Soares *et al.*¹³ (2018) relataram eliminação bacteriana ideal com 12 J (energia total), combinada a ciclos de irradiação múltiplos.

Doses intermediárias, como 9,6 J (Garcez *et al.*, 2017¹⁴) e 7,2 J/cm² (Hawryluk *et al.*, 2025⁵), associaram-se a reduções significativas na carga microbiana, mesmo em biofilmes. A combinação de 660 nm com alta potência ou potenciadores químicos (KI, H₂O₂) permitiu otimizar a eficiência energética, reduzindo a necessidade de doses elevadas^{11 12 14}. Contudo, lasers de 810 nm apresentaram menor eficácia (68,4% de redução) comparados aos de 660 nm (88%), reforçando a importância do comprimento de onda adequado⁸. Esses dados indicam que energias entre 6 e 12 J/cm², aplicadas em tempos moderados, são as mais promissoras para equilibrar eficácia e segurança clínica.

3. Pré-irradiação

O período de pré-irradiação refere-se ao tempo de incubação do fotossensibilizador em contato com o microrganismo-alvo antes da aplicação da luz ativadora, permitindo a penetração e ligação do corante às estruturas bacterianas. Entre os estudos revisados, Li *et al.*¹¹ (2021) adotaram um tempo de pré-irradiação de 10 minutos para o azul de metileno (0,4 µM) potenciado com iodeto de potássio (100 mM), protocolo que otimizou a eficácia antimicrobiana contra *E. faecalis*. Em contraste, Sebrão *et al.*¹⁵ (2017) utilizaram 5 minutos de pré-irradiação com azul de metileno a 0,01% (31,2 mol/L), seguido de irradiação com laser vermelho (660 nm) por 3 minutos, embora sem alcançar redução significativa na carga bacteriana, sugerindo que períodos curtos podem ser insuficientes para sensibilização adequada. Du *et al.* (2025)⁶, também optaram por incubação no escuro por 5 minutos, alcançando resultados significativos

para redução até mesmo de biofilme maduro de *E. faecalis*, indicando heterogeneidade metodológica na literatura.

4. Potencialização da PDT com Iodeto de Potássio (KI) e Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂)

Li et al.¹¹ (2021) utilizaram AM (0,4 µM) potencializado com iodeto de potássio (KI) a 100 mM com pré-irradiação de 10 minutos, alcançando redução bacteriana equivalente ao hipoclorito de sódio (NaOCl 1,5%) contra *E. faecalis* planctônico e em biofilmes. Yuan et al.¹² (2020) também demonstraram que a adição de KI (100 mM) a AM (0,4 µM), sob irradiação de 6 J/cm² (660 nm), eliminou 99,9% das células, mesmo em biofilmes maduros, destacando a eficácia da sinergia química. O KI reage com o oxigênio singleto (¹O₂), gerado pela fotoativação do AM, produzindo espécies altamente oxidantes, como o radical iodeto (I) e o triiodeto (I₃⁻), que danificam lipídios, proteínas e DNA bacteriano^{11 12}.

Quanto ao H₂O₂, Garcez et al.¹⁴ (2017) pré-trataram amostras com H₂O₂ (100 mM) antes da TFD, obtendo redução microbiana 30% superior à TFD convencional, especialmente em biofilmes intrincados. Esses adjuvantes não apenas otimizaram a eficácia, mas também permitiram o uso de doses mais baixas de AM (ex.: 0,4 µM vs. 20 µM isolados), reduzindo custos e riscos de pigmentação tecidual. Tais resultados reforçam que a combinação de AM com potenciadores químicos é uma estratégia promissora para superar limitações de protocolos tradicionais em endodontia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta revisão evidenciam que a terapia fotodinâmica mediada por azul de metileno configura-se como uma abordagem promissora no combate a *Enterococcus faecalis*, tanto em suspensões planctônicas quanto em biofilmes complexos. A eficácia antimicrobiana demonstrada nos estudos analisados está intrinsecamente ligada à otimização de parâmetros operacionais, como concentração do fotossensibilizador, energia luminosa e tempo de exposição, além da integração de adjuvantes químicos, como iodeto de potássio e peróxido de hidrogênio.

A heterogeneidade metodológica observada na literatura, contudo, reforça a

necessidade de padronização de protocolos. Além disso, o acompanhamento contínuo dos avanços científicos é crucial para incorporar técnicas emergentes, como a associação de AM com nanopartículas ou novos sensibilizadores de amplo espectro. Portanto, a atualização constante frente às evidências científicas não apenas aprimora a aplicação clínica da TFD, mas também consolida seu papel como terapia coadjuvante e minimamente invasiva na desinfecção endodôntica.

REFERÊNCIAS

1. Kayaoglu G, Erten H, Bodrumlu E, Ørstavik D. The resistance of collagen-associated, planktonic cells of *Enterococcus faecalis* to calcium hydroxide. *J Endod*. 2009 Jan;35(1):46-9. doi: 10.1016/j.joen.2008.09.014.
2. Safadi S, Maan H, Kolodkin-Gal I, Tsesis I, Rosen E. The Products of Probiotic Bacteria Effectively Treat Persistent *Enterococcus faecalis* Biofilms. *Pharmaceutics*. 2022 Mar 30;14(4):751. doi: 10.3390/pharmaceutics14040751
3. Boreak N, Mowkly AAM, Sharwani A, Almasoudi SA, Huraysi A, Sulily IA, Jali GG, Basihi MA, Alfaifi O, Tohari EA, Madkhali R. Genomic insights into *Enterococcus faecalis* implicated in endodontic infections: resistance, virulence, and genetic variability. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)*. 2025 Feb 2;71(1):102-110. doi: 10.14715/cmb/2025.70.1.11.
4. Cunha FNL. Terapia fotodinâmica mediada por azul de metileno contra *Enterococcus faecalis*: uma revisão dos últimos 20 anos de protocolos e avanços. *Rev Fac Odontol UPF* [Internet]. 2025 Mar 10 [citado 2025 Abr 14];30(1). Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rfo/article/view/16773>
5. Hawryluk DS, Pavelka MS Jr, Baran TM. Susceptibility of bacterial species commonly found in abdominal abscesses to low-dose photodynamic therapy: Effects of methylene blue concentration, fluence rate, and fluence. *Photochem Photobiol*. 2025 Mar 26. doi: 10.1111/php.14092. Epub ahead of print.
6. Du T, Wang Y, Liu X, Zhao W, Yang B, Gan K, Zhu J. Killing effect of antibacterial photodynamic therapy with long-term exposure against young and mature *Enterococcus faecalis* biofilms in dentin. *BMC Oral Health*. 2025 Feb 22;25(1):287. doi: 10.1186/s12903-025-05657-4. P
7. Chohan H, Khullar S, Patel RH, Rath J, Mohammed S, Subramani SK. Investigations of the Antimicrobial Effectiveness of Different Disinfection Protocols Against Endodontic

- Pathogens in Root Canal Systems. J Pharm Bioallied Sci. 2024 Dec;16(Suppl 4):S3577-S3579. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_1116_24. Epub 2024 Oct 30.
8. Tehrani NA, Javadinejad S, Shirani AM. Comparison between three methods of diode laser 810 nm, photodynamic therapy with laser 660 nm, and hypochlorite solution for disinfection of pulp canal of primary teeth. Dent Res J (Isfahan). 2024 Mar 26;21:23.
 9. Yang G, Chen W. In vitro effects of Er: YAG laser-activated photodynamic therapy on Enterococcus faecalis in root canal treatment. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2024 Feb;45:103992. doi: 10.1016/j.pdpdt.2024.103992.
 10. Yavagal C, Yavagal PC, Marwah N, Mangalekar SB, Sekar VK, Sahu MS. Antibacterial Efficacy of Dual-dye and Dual Laser Photodynamic Therapy on Oral Biofilms of Enterococcus faecalis, Streptococcus mutans, and Prevotella intermedia: An In Vitro Study. Int J Clin Pediatr Dent. 2023 Sep;16(Suppl 2):128-132. doi: 10.5005/jp-journals-10005-2662.
 11. Li R, Yuan L, Jia W, Qin M, Wang Y. Effects of Rose Bengal- and Methylene Blue-Mediated Potassium Iodide-Potentiated Photodynamic Therapy on Enterococcus faecalis: A Comparative Study. Lasers Surg Med. 2021 Mar;53(3):400-410. doi: 10.1002/lsm.23299.
 12. Yuan L, Lyu P, Huang YY, Du N, Qi W, Hamblin MR, et al. Potassium iodide enhances the photobactericidal effect of methylene blue on Enterococcus faecalis as planktonic cells and as biofilm infection in teeth. J Photochem Photobiol B. 2020 Jan;203:111730. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2019.111730. PMID: 31855718;
 13. Soares JA, Soares SMCS, de Jesus Tavares RR, de Castro Rizzi C, Vaz Rodrigues SCG, Maia Filho EM, et al. Exploring different photodynamic therapy parameters to optimize elimination of Enterococcus faecalis in planktonic form. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2018 Jun;22:127-131. doi: 10.1016/j.pdpdt.2018.03.009.
 14. Garcez AS, Hamblin MR. Methylene Blue and Hydrogen Peroxide for Photodynamic Inactivation in Root Canal - A New Protocol for Use in Endodontics. Eur Endod J. 2017;2(1):29. doi: 10.5152/eej.2017.17023.
 15. Sebrão CC, Bezerra AG Jr, de França PH, Ferreira LE, Westphalen VP. Comparison of the Efficiency of Rose Bengal and Methylene Blue as Photosensitizers in Photodynamic Therapy Techniques for Enterococcus faecalis Inactivation. Photomed Laser Surg. 2017 Jan;35(1):18-23. doi: 10.1089/pho.2015.3995.
 16. López-Jiménez L, Fusté E, Martínez-Garriga B, Arnabat-Domínguez J, Vinuesa T, Viñas M. Effects of photodynamic therapy on Enterococcus faecalis biofilms. Lasers Med Sci. 2015 Jul;30(5):1519-26. doi: 10.1007/s10103-015-1749-y.