

Eficácia da terapia fotodinâmica como adjuvante ao tratamento endodôntico convencional na desinfecção e controle microbiano dos canais radiculares

Efficacy of photodynamic therapy as an adjunct to conventional endodontic treatment in the disinfection and microbial control of root canals

Eficacia de la terapia fotodinámica como complemento del tratamiento endodóntico convencional en la desinfección y el control microbiano de los conductos radiculares

Recebido: 23/04/2026 | Aceito: 28/04/2026 | Publicado: 29/04/2026

Vinicius Nascimento Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6445-0295>

Centro Universitário de Viçosa, Brasil

E-mail: viniciusgv@live.com

Vinicius Lages Guimarães

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5537-3803>

Centro Universitário de Viçosa, Brasil

E-mail: viniciuslages@univicosacom.br

Resumo

O tratamento endodôntico atua na prevenção e tratamento de doenças de origem pulpar e periapical, seu sucesso está também diretamente ligado à máxima eliminação da infecção microbiana no sistema de canais radiculares (SCR), cuja complexidade anatômica impõe limitações ao preparo químico-mecânico (PQM) convencional, permitindo a persistência de patógenos, o que acarreta falhas no tratamento. Diante disso, este trabalho teve como propósito avaliar a eficácia da Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (TFDa) como método auxiliar no protocolo de desinfecção e controle microbiano dos canais radiculares. A coleta de dados foi realizada nas bases de dados PubMed, Scielo e LILACS (acessada pela Biblioteca Virtual em Saúde), utilizando os descritores "Photodynamic Therapy", "Root Canal", "Disinfection", "Endodontics". Os critérios de inclusão adotados foram: artigos publicados nos últimos cinco anos, em inglês, português ou espanhol, texto completo e gratuito, e que esteja dentro da temática investigada. De acordo com os artigos analisados, verificou-se que a TFDa atua pela ativação de um fotossensibilizador por luz na presença de oxigênio, gerando Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) que causam danos oxidativos letais aos microrganismos. Os resultados evidenciam que a aplicação da TFDa, em complemento ao PQM, potencializa significativamente a desinfecção, sendo altamente eficaz na eliminação de bactérias em biofilmes e cepas resistentes, mesmo em áreas de difícil acesso. Conclui-se que a Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana é uma ferramenta segura, minimamente invasiva, cuja incorporação ao protocolo clínico é capaz de superar as limitações do método tradicional, contribuindo para o aumento das taxas de sucesso do tratamento endodôntico.

Palavras-chave: Fotoquimioterapia; Desinfecção; Tratamento do canal radicular.

Abstract

Endodontic treatment is used to prevent and treat diseases of pulpal and periapical origin. Its success is also directly linked to the maximum elimination of microbial infection in the root canal system (RCS), whose anatomical complexity imposes limitations on conventional chemomechanical preparation (CMP), allowing the persistence of pathogens, which leads to treatment failures. Therefore, this study aimed to evaluate the effectiveness of Antimicrobial Photodynamic Therapy (aPDT) as an auxiliary method in the disinfection and microbial control protocol of root canals. Data collection was carried out in the PubMed, SciELO, and LILACS databases (accessed through the Virtual Health Library), using the descriptors "Photodynamic Therapy", "Root Canal", "Disinfection", and "Endodontics". The inclusion criteria adopted were: articles published in the last five years, in English, Portuguese, or Spanish, full text and free of charge, and within the investigated theme. According to the articles analyzed, it was found that PDT acts by activating a photosensitizer by light in the presence of oxygen, generating Reactive Oxygen Species (ROS) that cause lethal oxidative damage to microorganisms. The results show that the application of PDT, in addition to PQM, significantly enhances disinfection, being highly effective in eliminating bacteria in biofilms and resistant strains, even in hard-to-reach areas. It is concluded that Antimicrobial Photodynamic Therapy is a safe, minimally invasive tool, whose incorporation into the clinical protocol is capable of overcoming the limitations of the traditional method, contributing to increased success rates in endodontic treatment.

Keywords: Photochemotherapy; Disinfection; Root canal therapy.

Resumen

El tratamiento endodóntico se utiliza para prevenir y tratar enfermedades de origen pulpar y periapical. Su éxito también está directamente vinculado a la máxima eliminación de la infección microbiana en el sistema de conductos radiculares (SCR), cuya complejidad anatómica impone limitaciones a la preparación quimiomecánica convencional (PQM), permitiendo la persistencia de patógenos, lo que lleva a fracasos del tratamiento. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo evaluar la efectividad de la terapia fotodinámica antimicrobiana (TFA) como método auxiliar en el protocolo de desinfección y control microbiano de conductos radiculares. La recopilación de datos se realizó en las bases de datos PubMed, SciELO y LILACS (accedidas a través de la Biblioteca Virtual en Salud), utilizando los descriptores "Terapia fotodinámica", "Conducto radicular", "Desinfección" y "Endodoncia". Los criterios de inclusión adoptados fueron: artículos publicados en los últimos cinco años, en inglés, portugués o español, texto completo y gratuito, y dentro del tema investigado. Según los artículos analizados, se encontró que la terapia fotodinámica (TFD) actúa activando un fotosensibilizador mediante luz en presencia de oxígeno, generando especies reactivas de oxígeno (ERO) que causan daño oxidativo letal a los microorganismos. Los resultados muestran que la aplicación de TFD, junto con la desinfección de conductos radiculares (DCP), mejora significativamente la desinfección, siendo altamente efectiva para eliminar bacterias en biopelículas y cepas resistentes, incluso en áreas de difícil acceso. Se concluye que la terapia fotodinámica antimicrobiana es una herramienta segura y mínimamente invasiva, cuya incorporación al protocolo clínico permite superar las limitaciones del método tradicional, contribuyendo a mayores tasas de éxito en el tratamiento endodóntico.

Palabras clave: Fotoquimioterapia; Desinfección; Tratamiento del conductos radiculares.

1. Introdução

A Endodontia, enquanto especialidade da Odontologia, tem como principal atuação a prevenção e o tratamento de doenças de origem pulpar e periapical, cuja etiologia primária reside, invariavelmente, na infecção microbiana. A presença e a persistência de microrganismos e de seus subprodutos metabólicos no sistema de canais radiculares (SCR) é o principal fator que leva ao desenvolvimento de lesões pulpares e periapicais, além do insucesso dos tratamentos endodônticos. Assim, a chave para o sucesso clínico em longo prazo está diretamente relacionada à redução máxima ou à eliminação total da carga bacteriana no SCR (Barbosa et al., 2024; Couto et al., 2024).

O protocolo de desinfeção convencional baseado no preparo químico-mecânico (PQM), apesar de essencial, possui variadas limitações. A complexa e diversificada anatomia interna dos dentes, marcada por istmos, deltas apicais, canais laterais e, principalmente, a densa rede de túbulos dentinários, impõe barreiras físicas estabelecendo um obstáculo à penetração e à ação completa dos instrumentos, agentes químicos irrigadores e as medicações intracanal (Pereira et al., 2021). Essa falha em se obter a total desinfeção do SCR é o principal fator etiológico das infecções secundárias e dos insucessos terapêuticos (Shahbazi et al., 2022).

Diante da reconhecida dificuldade em se obter a esterilização completa do SCR apenas com os métodos tradicionais, a Endodontia moderna tem direcionado esforços para a incorporação de terapias adjuvantes. Com isso, a Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (TFDa) surge como uma tecnologia coadjuvante promissora, sendo amplamente investigada por sua capacidade na redução de carga bacteriana, redução da dor pós-operatória e diminuição do tamanho das lesões periapicais (Shahbazi et al., 2022; Barbosa et al., 2024).

O mecanismo de ação da TFDa baseia-se na combinação de três elementos não tóxicos: um fotossensibilizador, uma fonte de luz com comprimento de onda específico e o oxigênio molecular. A ativação do fotossensibilizador pela luz leva à transferência de energia para o oxigênio, resultando na produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) altamente citotóxicas, em especial o Oxigênio singlet (Nasiri; Wrbas & Doychinova, 2024). Essas EROs atacam seletivamente as estruturas vitais das células bacterianas, como membranas e ácidos nucleicos, causando danos oxidativos irreversíveis e a consequente morte celular, mesmo em microrganismos organizados em biofilmes (Calderon et al., 2024).

Estudos têm demonstrado que o uso da TFDa associada ao tratamento endodôntico convencional constitui um meio eficaz para a redução da carga bacteriana, promovendo o controle e a eliminação de bactérias multirresistentes, o que contribui

para evitar insucessos no tratamento do canal radicular (Barbosa et al., 2024). Por seu potencial de desinfecção em áreas inacessíveis e sua baixa toxicidade sistêmica, a TFDa representa uma importante inovação que visa elevar os padrões de sucesso da terapia endodôntica.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa documental de fonte indireta em artigos da literatura num estudo de revisão sistemática integrativa (Snyder, 2019). O estudo contou com abordagem quantitativa em relação a quantidade de 11 (Onze) artigos selecionados para compor o corpus desta pesquisa e, qualitativa nas discussões (Risemberg et al., 2026; Pereira et al., 2018). O processo contemplou: formulação da questão de pesquisa, definição dos critérios de inclusão e exclusão, identificação das bases de dados, desenvolvimento das estratégias de busca, seleção dos artigos, extração e categorização das informações e, por fim, a síntese dos resultados. A pergunta norteadora utilizada como guia para todas as fases da revisão foi: “A Terapia Fotodinâmica, associada ao tratamento endodôntico convencional, melhora a desinfecção e o controle microbiano dos canais radiculares, em comparação ao tratamento convencional isolado, sem aumentar eventos adversos?”.

Foram elegíveis para inclusão os estudos que atendessem aos seguintes requisitos: redigidos em inglês, português ou espanhol; textos completos e gratuitos; e publicações realizadas nos últimos cinco anos, com o objetivo de buscar dados mais atualizados. Foram excluídos: artigos duplicados nas diferentes bases; resumos de eventos, cartas ao editor, comentários, capítulos de livros, dissertações, teses e manuais técnicos; publicações que, após leitura completa, não apresentaram relação direta com o objeto da revisão.

Para a construção da fundamentação teórica, foi realizado um levantamento bibliográfico nas seguintes bases eletrônicas: PubMed, SciELO e LILACS (acessada pela Biblioteca Virtual em Saúde). Foram utilizados os seguintes descritores controlados, de acordo com os vocabulários MeSH (Medical Subject Headings) e DeCS (Descritores em Ciências da Saúde): "Photodynamic Therapy", "Root Canal", "Disinfection", "Endodontics" combinados entre si pelo operador booleano “AND” em letras maiúsculas de modo a refinar a busca e obter resultados mais específicos e relevantes ao tema proposto.

As referências obtidas foram organizadas no software Excel®, que auxiliou na identificação de duplicidades e na triagem inicial dos estudos.

A triagem foi desenvolvida em três etapas sucessivas: leitura dos títulos, análise dos resumos e leitura integral dos artigos considerados potencialmente relevantes.

As informações dos estudos incluídos foram coletadas por meio de um formulário estruturado, contemplando: autor(es), ano de publicação, principais achados e conclusões. Posteriormente, os dados foram agrupados em categorias temáticas, de acordo com as convergências identificadas, possibilitando uma análise crítica e integrada dos resultados.

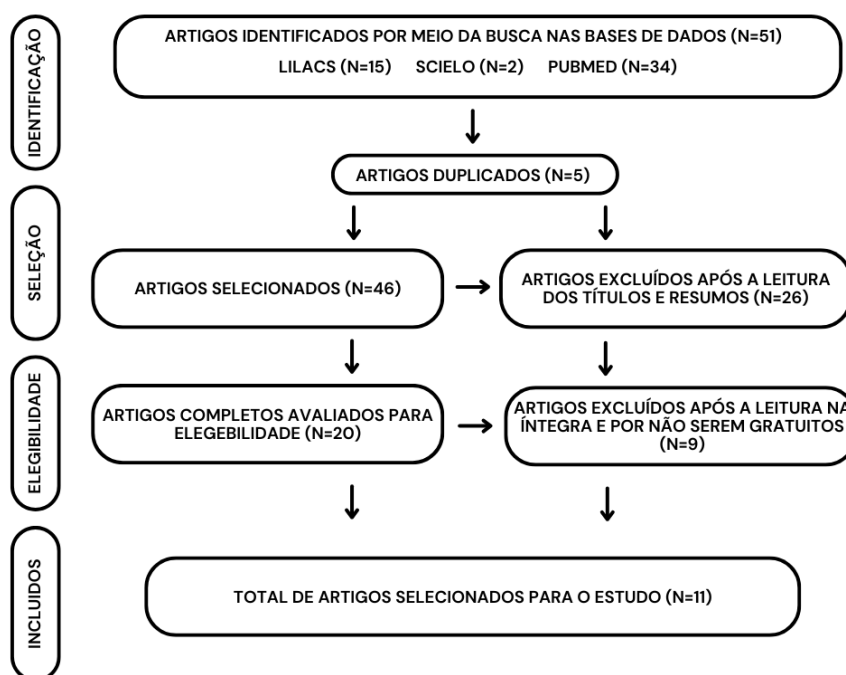
A síntese dos achados ocorreu de maneira descritiva, com exposição dos dados em tabelas e quadros, complementados por uma discussão narrativa. Ressalta-se que não foi realizada avaliação da qualidade metodológica dos estudos, em razão do caráter exploratório desta revisão integrativa.

3. Resultados

Inicialmente, foram encontrados 51 artigos. Após a leitura dos títulos e resumos, 26 estudos foram excluídos por não se adequarem ao tema. Em seguida, foram identificados e removidos 5 artigos duplicados e 9 artigos por não possuírem texto completo e gratuito, totalizando 11 artigos selecionados para leitura na íntegra e mantidos os mesmos na construção deste trabalho (Figura 1). Os dados extraídos foram analisados de forma crítica, permitindo a identificação de padrões, variáveis relevantes e lacunas na literatura. Essas informações ajudaram a construir a discussão e as conclusões deste trabalho (Tabela

1).

Figura 1 – Fluxograma da seleção dos artigos.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 1 – Artigos selecionados.

Autor	Título do Artigo	Conclusão
Ahangari, <i>et al.</i> , (2021).	Investigating the antibacterial effect of passive ultrasonic irrigation, photodynamic therapy and their combination on root canal disinfection	A irrigação ultrassônica passiva foi mais eficaz, promovendo eliminação completa bacteriana, e a associação com TFDa não aumentou significativamente a eficácia
Alimadadi, <i>et al.</i> , (2021).	Effect of apical size and taper on the efficacy of root canal disinfection with LED photodynamic therapy	A TFDa não aumentou significativamente a redução total bacteriana, mas contribuiu para diminuição de bactérias residuais
Amiri; Mirzaie, (2024).	Photodynamic therapy in a lateral maxillary incisor with dens in dente type II	A TFDa associada ao tratamento convencional resultou em cicatrização óssea e sucesso clínico em acompanhamento
Barazy, <i>et al.</i> , (2024).	Can antimicrobial photodynamic therapy serve as an effective adjunct protocol for disinfecting the necrotic root canal system?	A TFDa apresentou eficácia semelhante à irrigação ultrassônica e superior ao Ca(OH) ₂ , sendo uma alternativa viável como adjuvante
Barbosa, <i>et al.</i> , (2024).	Uso da terapia fotodinâmica antimicrobiana associada ao tratamento endodôntico	A TFDa reduz carga bacteriana e auxilia na eliminação de microrganismos resistentes, sendo eficaz como terapia adjuvante
Calderón, <i>et al.</i> , (2024).	Photodynamic therapy, a new trend in endodontics for the removal of <i>Enterococcus faecalis</i>	A TFDa é eficaz na eliminação de <i>E. faecalis</i> e contribui para o sucesso do tratamento endodôntico
Chohan, <i>et al.</i> , (2024).	Investigations of the antimicrobial effectiveness of different disinfection protocols	O laser apresentou maior eficácia, seguido da TFDa, que ainda foi superior ao hipoclorito isolado
Oliveira-Aguiar, <i>et al.</i> , (2026).	Does adjunctive photodynamic therapy enhance sodium hypochlorite-based root canal disinfection?	A associação TFDa + NaOCl melhora significativamente a desinfecção, embora com alta heterogeneidade entre estudos
Rfysh, <i>et al.</i> , (2025).	Indocyanine green-activated photodynamic therapy with diode laser eradicates <i>Enterococcus faecalis</i>	A TFDa com verde de indocianina promoveu erradicação completa de <i>E. faecalis</i>
Salazar-Villavicencio & Zapata-Sifuentes, (2024).	Effectiveness of curcumin as photodynamic therapy for endodontic procedures	A curcumina fotoativada mostrou forte ação antibacteriana, com redução significativa do biofilme
Shahbazi, <i>et al.</i> , (2022).	Photodynamic therapy in root canal disinfection: a case series and mini-review	A TFDa melhora a desinfecção quando associada ao tratamento convencional

Fonte: Autoria própria.

4. Discussão

4.1 A microbiota do SCR e à persistência da infecção endodôntica

A infecção do sistema de canais radiculares SCR constitui o principal fator etiológico das patologias pulpares e periapicais, sendo a persistência microbiana diretamente associada às falhas no tratamento endodôntico. A literatura analisada demonstra consenso quanto à importância do controle da microbiota intracanal para o sucesso terapêutico, destacando a complexidade estrutural do SCR como um dos principais obstáculos à completa desinfecção (Oliveira-Aguiar et al., 2026; Silva-Selva et al., 2024).

Nesse contexto, diversos estudos apontam o *Enterococcus faecalis* como o microrganismo mais frequentemente associado a infecções persistentes. Segundo Calderón et al. (2024), esse patógeno apresenta elevada capacidade de sobrevivência em condições adversas, incluindo ambientes com escassez de nutrientes e alta alcalinidade, além de possuir habilidade de aderir ao colágeno dentinário e penetrar profundamente nos túbulos dentinários.

A resistência do *E. faecalis* está diretamente relacionada à formação de biofilmes, que atuam como barreira física e química contra agentes antimicrobianos. Salazar-Villavicencio e Zapata-Sifuentes (2024) apontam que esses biofilmes apresentam organização estrutural complexa, dificultando a penetração de agentes químicos e reduzindo sua eficácia. Esse achado é corroborado por Chohan et al. (2024), eles afirmam que a remoção total das bactérias ainda é difícil, principalmente por causa da complexidade anatômica dos canais radiculares e da presença de biofilmes que são mais resistentes, reforçando a dificuldade em erradicar totalmente os microrganismos.

Além da resistência microbiana, a persistência da infecção também está associada às limitações dos métodos convencionais de desinfecção. Estudos demonstram que o preparo químico-mecânico (PQM), embora essencial, não é capaz de atingir todas as superfícies do SCR. Oliveira-Aguiar et al. (2026) evidenciam que áreas como istmos, canais acessórios e regiões apicais frequentemente permanecem não instrumentadas, permitindo a permanência de microrganismos.

De forma complementar, Ahangari et al. (2021) demonstram que mesmo após a irrigação convencional com hipoclorito de sódio, uma parcela significativa dos canais ainda apresenta contaminação bacteriana. Os autores relatam que aproximadamente 40% a 60% dos canais permanecem infectados com bactérias cultiváveis, evidenciando a limitação do método convencional na eliminação completa dos microrganismos.

Outro fator relevante refere-se à limitação da penetração dos irrigantes. Segundo Ahangari et al. (2021), a irrigação por seringa apresenta alcance restrito, não ultrapassando aproximadamente 1 mm além da ponta da agulha, o que compromete a ação antimicrobiana nas regiões mais profundas do canal radicular. Essa limitação é agravada pela presença de barreiras físicas, como o chamado “vapor lock”, que impede a adequada circulação do irrigante na região apical.

Adicionalmente, estudos experimentais demonstram que fatores anatômicos influenciam diretamente a eficácia da desinfecção. Alimadadi et al. (2021) observaram que o aumento do diâmetro apical favorece a redução bacteriana, embora não seja suficiente para garantir a eliminação completa da infecção, evidenciando que o sucesso do tratamento depende de múltiplas variáveis.

No âmbito clínico, a persistência da infecção também está associada a anatomias complexas. Amiri e Mirzaie (2024) relatam dificuldades no tratamento de dentes com dens invaginatus, nos quais a configuração anatômica favorece a retenção de microrganismos mesmo após a intervenção endodôntica. De forma semelhante, Shahbazi et al. (2022) destacam que casos de retratamento apresentam maior desafio microbiológico, devido à presença de biofilmes estabelecidos e microrganismos resistentes.

Dessa forma, a análise integrada dos estudos evidencia que a persistência da infecção endodôntica resulta da interação entre resistência microbiana, formação de biofilmes e limitações dos métodos convencionais de desinfecção. Embora o preparo

químico-mecânico seja fundamental, sua incapacidade de atingir todas as regiões do SCR reforça a necessidade de terapias adjuvantes que potencializem a redução da carga microbiana e aumentem a previsibilidade do tratamento endodôntico (Silva-Selva et al., 2024).

4.2 Terapia fotodinâmica e seu mecanismo de ação

A Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (TFDa) tem sido proposta como uma estratégia adjuvante capaz de ampliar a desinfecção do sistema de canais radiculares, sobretudo em situações nas quais o preparo químico-mecânico apresenta limitações. De modo geral, os estudos analisados convergem ao afirmar que a TFDa não deve ser entendida como substituta do tratamento endodôntico convencional, mas como um recurso complementar com potencial de reduzir a carga microbiana residual e atuar em áreas de difícil acesso (Oliveira-Aguiar et al., 2026; Silva-Selva et al., 2024)

O mecanismo de ação da TFDa baseia-se em uma tríade composta por fotossensibilizador, fonte de luz e oxigênio molecular. Após a aplicação intracanal, o fotossensibilizador é ativado por uma luz com comprimento de onda compatível e, na presença de oxigênio, passa a gerar Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) capazes de provocar dano celular bacteriano. Shahbazi et al. (2022) descrevem que a energia absorvida pelo fotossensibilizador é transferida ao oxigênio molecular, formando espécies reativas que danificam membranas, proteínas e ácidos nucleicos microbianos. Esse princípio aparece de forma consistente também nas revisões de Calderón et al. (2024) e Silva-Selva et al. (2024), que relacionam a ação oxidativa da TFDa à destruição de microrganismos remanescentes no interior do canal radicular.

Um aspecto importante é que os artigos não tratam a TFDa como uma terapia homogênea. Pelo contrário, a literatura destaca que seu efeito antimicrobiano depende fortemente da correta interação entre os três componentes da tríade. Barazy et al. (2024), enfatizam que a aplicação ocorre em duas etapas: primeiro, o fotossensibilizador é mantido no interior do canal por um tempo de pré-irradiação; em seguida, é ativado por luz visível em comprimento de onda apropriado. Os autores também explicam que a reação fotodinâmica pode ocorrer por duas vias: uma via de transferência de elétrons, com produção de radicais livres e peróxidos, e outra via com formação de oxigênio reativo, ambas levando ao dano bacteriano. Esse detalhamento é relevante porque ajuda a compreender por que alterações aparentemente pequenas no protocolo, como tempo de pré-irradiação, potência da luz ou tipo de fotossensibilizador, podem modificar os resultados clínicos e laboratoriais.

Em comparação com os irrigantes convencionais, a principal vantagem teórica da TFDa está no fato de sua ação não depender exclusivamente do fluxo mecânico da solução irrigadora. Ahangari et al. (2021) lembram que a eficácia dos irrigantes depende do contato direto com as paredes do canal e que a irrigação por seringa apresenta alcance limitado, especialmente na região apical. Nesse cenário, a TFDa apresenta interesse porque pode atuar em nichos anatômicos onde a ação química e mecânica isoladas não são suficientes.

No entanto, a análise crítica dos artigos mostra que a superioridade mecanística da TFDa não significa, automaticamente, superioridade clínica ou microbiológica em qualquer contexto. Ahangari et al. (2021) demonstraram que, embora a TFDa reduza significativamente a carga bacteriana, ela não aumentou o efeito antibacteriano quando associada à irrigação ultrassônica passiva, que por si só já foi capaz de promover eliminação completa bacteriana no modelo estudado. Esse achado é particularmente importante para a discussão, pois sugere que o mecanismo de ação da TFDa é biologicamente plausível e eficaz, mas pode tornar-se redundante quando outras técnicas de ativação do irrigante já alcançam alto desempenho antimicrobiano.

Outro ponto relevante diz respeito à natureza não térmica da TFDa. Rfysh et al. (2025) destacam que a terapia fotodinâmica, ao gerar espécies reativas de oxigênio, atua seletivamente contra patógenos “sem dano térmico”, o que a diferencia de abordagens baseadas predominantemente em efeitos térmicos ou fotodisruptivos. Isso reforça sua proposta como terapia minimamente invasiva e biologicamente segura. Alimadadi et al. (2021) também observam que, quando mediada por

LED, a TFDa apresenta baixo risco de dano térmico e custo potencialmente menor em comparação com lasers de maior potência, o que amplia sua atratividade clínica.

Ainda assim, a literatura também aponta limites importantes. Chohan et al. (2024), ao compararem diferentes protocolos de desinfecção, observaram que o laser Er:YAG apresentou maior profundidade de penetração e melhor desempenho antimicrobiano que a TFDa em determinados patógenos. Esse achado não invalida o mecanismo da TFDa, mas sugere que sua eficácia depende não apenas da presença de espécies reativas de oxigênio, e sim da interação entre profundidade de ação, anatomia do canal, tipo de biofilme e protocolo utilizado. Em outras palavras, o mecanismo fotodinâmico é biologicamente consistente, mas seu desempenho prático está condicionado a variáveis técnicas e clínicas.

4.3 Fotossensibilizadores e fontes de luz utilizados

A eficácia da Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (TFDa) depende diretamente da interação entre o fotossensibilizador e a fonte de luz utilizada. Embora o princípio biológico da técnica seja relativamente bem estabelecido, a literatura analisada demonstra que os resultados antimicrobianos variam consideravelmente em função do tipo de corante, da concentração empregada, do tempo de pré-irradiação, do comprimento de onda da luz e do modo de aplicação intracanal (Oliveira-Aguiar et al., 2026; Barazy et al., 2024)

Entre os fotossensibilizadores mais citados nos estudos estão o azul de metileno, o azul de toluidina, o verde de indocianina e a curcumina. O azul de metileno aparece como um dos agentes mais tradicionalmente empregados, sobretudo em associação com laser de diodo ou LED, sendo referido por vários autores como um fotossensibilizador com ação antimicrobiana relevante e ampla aplicação em protocolos endodônticos (Oliveira-Aguiar et al., 2026; Chohan et al., 2024; Shahbazi et al., 2022)

Entretanto, a revisão sistemática com metanálise de Oliveira-Aguiar et al. (2026) oferece uma contribuição importante ao mostrar que nem todos os fotossensibilizadores apresentam o mesmo desempenho. Os autores observaram benefício significativo da associação entre NaOCl e TFDa especialmente quando o azul de metileno foi empregado, enquanto o azul de toluidina não mostrou benefício adicional claro em relação ao NaOCl isolado. Em outras palavras, a revisão sugere que a escolha do corante não é um detalhe secundário do protocolo, mas um elemento central para a eficácia da terapia. Essa observação é particularmente relevante porque demonstra que a TFDa não pode ser interpretada como uma técnica uniforme; sua efetividade depende da qualidade da combinação entre corante e luz.

O azul de toluidina, apesar de amplamente empregado, apresentou resultados mais heterogêneos. Ahangari et al. (2021) utilizaram azul de toluidina a 0,1 mg/mL em associação com LED e observaram redução bacteriana significativa em relação ao controle, mas sem superioridade em relação à irrigação ultrassônica passiva ou mesmo ao NaOCl em determinadas comparações. Shahbazi et al. (2022), ao relatarem três casos clínicos, também empregaram azul de toluidina com LED e observaram evolução clínica favorável, o que demonstra que, embora esse fotossensibilizador possa não apresentar o melhor desempenho em todos os modelos laboratoriais, ele continua sendo clinicamente aplicável.

O verde de indocianina, por sua vez, surge nos estudos mais recentes como uma alternativa promissora. Rfysh et al. (2025) compararam PDT com verde de indocianina, azul de metileno e cetrimida, todos ativados por laser de diodo de 810 nm, e observaram desempenho superior do verde de indocianina, com erradicação completa de *E. faecalis* no modelo experimental. Os autores destacam que esse corante apresenta boa biocompatibilidade e absorção na faixa do infravermelho próximo, o que favorece maior penetração da luz e melhor geração de espécies reativas em profundidade.

Outro corante, a curcumina ocupa posição particular nessa discussão por representar um fotossensibilizador de origem natural. A revisão narrativa de Salazar-Villavicencio e Zapata-Sifuentes (2024) destaca que a curcumina fotoativada apresenta potencial para romper biofilmes e reduzir unidades formadoras de colônia, além de diminuir a viabilidade de células

microbianas. Os autores enfatizam que a curcumina absorve melhor luz na faixa azul, especialmente entre 405 e 435 nm, e que sua ação combina propriedades antimicrobianas intrínsecas com o efeito fotodinâmico. Comparativamente, embora a literatura sobre curcumina ainda seja menos consolidada que a referente ao azul de metileno, sua menor toxicidade e origem natural tornam esse fotossensibilizador especialmente atrativo para futuras aplicações clínicas.

Além dos fotossensibilizadores, a fonte de luz também influencia decisivamente os resultados. Os artigos analisados utilizam principalmente lasers de diodo e sistemas LED. Os lasers de diodo aparecem associados a diferentes comprimentos de onda, como 630–660 nm em protocolos com azul de metileno ou azul de toluidina, e 810 nm em protocolos com verde de indocianina (Rfysh et al., 2025; Barazy et al., 2024). Já os dispositivos LED são descritos como alternativas seguras, com menor risco térmico e custo potencialmente mais acessível, sendo amplamente utilizados em protocolos clínicos e laboratoriais (Alimadadi et al., 2021; Ahangari et al., 2021; Shahbazi et al., 2022).

A comparação entre LED e laser não é totalmente conclusiva, mas os estudos permitem algumas inferências. Alimadadi et al. (2021) observam que a TFDa mediada por LED apresenta baixo risco de dano térmico e bom custo-benefício, sendo uma opção prática para a rotina clínica. Ahangari et al. (2021) também utilizaram LED em associação ao azul de toluidina e obtiveram redução bacteriana significativa. Por outro lado, Rfysh et al. (2025) mostraram excelente desempenho com laser de diodo de 810 nm, sugerindo que comprimentos de onda mais penetrantes podem favorecer melhor resultado, especialmente quando combinados a fotossensibilizadores adequados. Assim, parece haver uma tendência de que os lasers de diodo ofereçam maior profundidade de ação, enquanto os LEDs apresentam vantagens operacionais e de segurança.

Essa observação dialoga com Chohan et al. (2024), que compararam TFDa, NaOCl, ozonioterapia e laser Er:YAG. Embora o foco do estudo não tenha sido a comparação entre diferentes fontes da própria TFDa, os autores mostraram que tecnologias baseadas em luz não apresentam desempenho equivalente entre si. O laser Er:YAG teve maior profundidade de penetração e maior eficácia antimicrobiana em parte das análises, enquanto a TFDa exigiu maior tempo de aplicação. Isso sugere que a fonte de luz influencia não só a geração de espécies reativas, mas também a praticidade clínica do protocolo.

4.4 Aplicações clínicas da TFDa e a associação ao tratamento endodôntico

A aplicação clínica da Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (TFDa) na endodontia tem sido descrita, de modo geral, como complementar ao preparo químico-mecânico (PQM), e não como substitutiva. Os estudos analisados convergem ao demonstrar que a técnica vem sendo empregada principalmente em situações nas quais a anatomia do sistema de canais radiculares, a persistência da infecção ou o risco de manutenção de biofilmes tornam a desinfecção convencional potencialmente insuficiente (Silva-Selva et al., 2024; Calderón et al., 2024).

Nesse sentido, as revisões de Silva-Selva et al. (2024) e Calderón et al. (2024) atribuem à TFDa um papel clínico promissor justamente por sua capacidade de atuar como coadjuvante ao tratamento endodôntico convencional. Silva-Selva et al. (2024) sintetizam essa perspectiva ao indicar que a TFDa associada ao tratamento endodôntico é um meio eficaz de reduzir a carga bacteriana e controlar microrganismos resistentes, enquanto Calderón et al. (2024) ressaltam que a terapia fotodinâmica passou a ocupar lugar de destaque como tecnologia voltada ao aprimoramento dos protocolos de desinfecção intracanal.

Essa interpretação é compatível com Shahbazi et al. (2022), que descreveram três casos clínicos tratados com TFDa associada ao tratamento endodôntico convencional. Os autores relataram boa evolução clínica e radiográfica, incluindo redução de lesões periapicais e ausência de sintomas nos acompanhamentos. A conclusão do estudo é direta ao afirmar que a TFDa pode ser usada em conjunto com o tratamento endodôntico convencional para alcançar excelentes resultados. O valor desse estudo, entretanto, não está apenas na descrição de sucesso clínico, mas no fato de incluir diferentes situações clínicas, como retratamento e dentes anteriores e posteriores, sugerindo que a TFDa possui aplicabilidade relativamente ampla no contexto endodôntico.

Ao comparar os estudos clínicos com as revisões, percebe-se que a principal justificativa para o uso clínico da TFDa é sua capacidade de atuar em situações nas quais o risco de persistência microbiana é maior. Isso fica particularmente evidente no ensaio clínico randomizado de Barazy et al. (2024), que avaliou canais necróticos com lesões periapicais de tamanho moderado. Os autores compararam a TFDa com irrigação ultrassônica passiva (PUI) e curativo de hidróxido de cálcio, concluindo que a TFDa apresentou desempenho semelhante ao da PUI e superior ao do hidróxido de cálcio. Em termos clínicos, esse achado é bastante relevante, pois sugere que a TFDa não apenas possui potencial experimental, mas já pode ser considerada um método viável de desinfecção adicional em canais necróticos infectados. O próprio estudo destaca que a TFDa “pode ser considerada um método adjuvante para desinfecção do canal radicular com a mesma efetividade da irrigação ultrassônica passiva”.

Contudo, a comparação entre Barazy et al. (2024) e Ahangari et al. (2021) mostra que a aplicação clínica da TFDa deve ser interpretada com cautela. Enquanto Barazy et al. (2024) observaram eficácia clínica semelhante à PUI, Ahangari et al. (2021), em modelo experimental, verificaram que a associação da TFDa à irrigação convencional com NaOCl não aumentou o efeito antimicrobiano quando comparada à PUI, que promoveu eliminação completa bacteriana. Essa diferença entre os dois estudos é importante porque mostra que a relevância clínica da TFDa depende não apenas da técnica em si, mas do contexto em que ela é inserida e da tecnologia com a qual é comparada. Em outras palavras, a TFDa parece ser clinicamente útil, mas sua utilidade relativa muda conforme a alternativa disponível.

Do ponto de vista prático, os artigos também revelam que a associação da TFDa ao tratamento endodôntico exige atenção a detalhes operatórios, como neutralização do NaOCl residual, tempo de pré-irradiação, preenchimento adequado do canal com o fotossensibilizador e correta inserção da fibra ou ponteira intracanal. Isso é visível tanto nos estudos clínicos quanto nos experimentais. Shahbazi et al. (2022) descrevem, por exemplo, a neutralização do hipoclorito com tiosulfato de sódio antes da aplicação do fotossensibilizador, seguida de escovamento do corante nas paredes do canal e irradiação com LED. Amiri e Mirzaie (2024) também inseriram a TFDa após irrigação ativa e irrigação final com solução salina, o que sugere que o sucesso clínico da terapia depende da integração adequada com o protocolo endodôntico, e não de sua aplicação isolada.

Assim, podemos concluir que as aplicações clínicas da TFDa são mais bem compreendidas quando se reconhece seu papel como terapia adjuvante seletiva. A técnica mostra maior relevância em canais necróticos, casos com lesão periapical, retratamentos e anatomias complexas, ou seja, nos contextos em que a desinfecção convencional tende a apresentar mais limitações. Ao mesmo tempo, sua utilidade clínica não é absoluta: ela depende do protocolo empregado, da tecnologia disponível e da comparação com outros métodos adjuvantes. Por isso, o valor da TFDa na prática endodôntica parece residir menos em seu uso rotineiro universal e mais em sua capacidade de agregar benefício em cenários clínicos específicos, onde a persistência microbiana representa maior risco de insucesso.

5. Conclusão

Com base na análise dos estudos incluídos, verificou-se que a Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (TFDa) apresenta eficácia relevante como adjuvante ao tratamento endodôntico convencional na desinfecção do sistema de canais radiculares. A literatura demonstra que a técnica é capaz de promover redução significativa da carga microbiana, inclusive de microrganismos resistentes como o *Enterococcus faecalis*, especialmente quando associada ao preparo químico-mecânico.

Os resultados indicam que a TFDa atua de forma complementar, potencializando a ação dos irrigantes e ampliando a desinfecção em regiões de difícil acesso, como túbulos dentinários e áreas não instrumentadas. Além disso, seu mecanismo de ação baseado na geração de espécies reativas de oxigênio confere vantagens importantes, como ausência de resistência bacteriana, ação sobre biofilmes e baixa toxicidade aos tecidos do hospedeiro.

Entretanto, a análise crítica dos estudos evidencia que sua eficácia não é uniforme nem superior a todas as técnicas disponíveis. Em comparação com métodos como a irrigação ultrassônica passiva e o uso de lasers de alta potência, a TFDa apresentou desempenho semelhante ou inferior em determinados protocolos, indicando que seu benefício depende do contexto clínico e da associação com outras estratégias de desinfecção.

Dessa forma, conclui-se que a TFDa constitui uma abordagem promissora e eficaz como terapia adjuvante no tratamento endodôntico, contribuindo para a redução da carga microbiana e potencializando os resultados clínicos. No entanto, sua utilização deve ser baseada em critérios clínicos bem definidos, sendo mais indicada em casos de infecções persistentes, retratamentos e anatomias complexas, nos quais o tratamento convencional apresenta limitações.

Por fim, destaca-se a necessidade de padronização dos protocolos e de estudos clínicos de maior nível de evidência, a fim de estabelecer com maior precisão o papel da TFDa na prática endodôntica contemporânea.

Referências

- Ahangari, Z., Asnaashari, M., Akbarian Rad, N., Shokri, M., Azari-Marhabi, S., & Asnaashari, N. (2021). Investigating the Antibacterial Effect of Passive Ultrasonic Irrigation, Photodynamic Therapy and Their Combination on Root Canal Disinfection. *Journal of lasers in medical sciences*, 12, e81. <https://doi.org/10.34172/jlms.2021.81>
- Alimadadi, H., Asnaashari, M., Naseri, M., & Yadegari, Z. (2021). Effect of Apical Size and Taper on the Efficacy of Root Canal Disinfection With LED Photodynamic Therapy as an Adjunct to Irrigation With Sodium Hypochlorite. *Journal of lasers in medical sciences*, 12, e58. <https://doi.org/10.34172/jlms.2021.58>
- Amiri, M., & Mirzaie, A. (2024). Photodynamic Therapy in a Lateral Maxillary Incisor with Dens in Dente Type II and Primary Endodontic Lesion: Case Report. *Iranian endodontic journal*, 19(2), 130–133. <https://doi.org/10.22037/iej.v19i2.4348>
- Barazy, R., Alafif, H., Achour, H., Al-Aloul, A., & Alsayed Tolibah, Y. (2024). Can antimicrobial photodynamic therapy serve as an effective adjunct protocol for disinfecting the necrotic root canal system? A randomized controlled study. *BDJ open*, 10(1), 53. <https://doi.org/10.1038/s41405-024-00239-y>
- Barbosa, A. P., Lucena, V. C. de, Silva Neto, L. B. da, Nascimento, R. P. de A., & Silva-Selva, E. L. M. S. da. (2024). Uso da terapia fotodinâmica antimicrobiana associada ao tratamento endodôntico: uma revisão integrativa. *Arq. odontol*, 283–291. Recuperado de <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1594263>
- Calderón Augusto, José Carlos Martín, Cassana Rojas, Luis Rodrigo, Villar Zapata, Jean Carlo, & Velásquez Huamán, Zulema. (2024). Terapia fotodinâmica, una nueva tendencia en endodoncia para la eliminación del *Enterococcus faecalis*. *Revista Estomatológica Herediana*, 34(1), 84. Epub 31 de marzo de 2024. <https://doi.org/10.20453/reh.v34i1.5333>
- Chohan, H., Khullar, S., Patel, R. H., Rath, J., Mohammed, S., & Subramani, S. K. (2024). Investigations of the Antimicrobial Effectiveness of Different Disinfection Protocols Against Endodontic Pathogens in Root Canal Systems. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 16(Suppl 4), S3577–S3579. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1116_24
- Couto, B. M., et al. (2024). Terapia fotodinâmica aplicada na endodontia. *Revista Científica da UNIFENAS*, 6(6). <https://doi.org/10.29327/2385054.6.6-13>
- Nasiri, K., Wrbas, K.-T., & Doychinova, M. (2024). Using photodynamic therapy for root canal disinfection during root canal therapy. *Journal of Dental Sciences*, 19(3), 1909–1910. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.03.018>
- Oliveira-Aguiar, J., Salmon, B., Lourenço, P. R., Faria-E-Silva, A. L., Souza-Gabriel, A. E., Sousa-Neto, M. D., & Candemil, A. P. (2026). Does adjunctive photodynamic therapy enhance sodium hypochlorite-based root canal disinfection? A systematic review and meta-analysis. *Photodiagnosis and photodynamic therapy*, 58, 105400. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2026.105400>
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., Shitsuka, R. *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2018. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Risemberg, R. I. C. et al. (2026). A importância da metodologia científica no desenvolvimento de artigos científicos. *E-Acadêmica*, 7(1), e0171675. <https://eacademica.org/eacademica/article/view/675>
- Rfysh, A. F., Hameed, M. R., Asgary, S., & Shubbar, M. (2025). Indocyanine green-activated photodynamic therapy with diode laser eradicates *Enterococcus faecalis* in infected root canals: An *in vitro* study. *Dental research journal*, 22, 55. https://doi.org/10.4103/drj.drj_407_25
- Salazar Villavicencio, A. M., & Zapata-Sifuentes, M. (2024). Efectividad de la curcumina como terapia fotodinâmica para los procedimientos de endodoncia: una revisión narrativa [Effectiveness of curcumin as photodynamic therapy for endodontic procedures: a narrative review]. *Revista científica odontologica (Universidad Científica del Sur)*, 12(2), e200. <https://doi.org/10.21142/2523-2754-1202-2024-200>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-9. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Shahbazi, S., Esmaili, S., Feli, M., & Asnaashari, M. (2022). Photodynamic Therapy in Root Canal Disinfection: A Case Series and Mini-Review. *Journal of lasers in medical sciences*, 13, e19. <https://doi.org/10.34172/jlms.2022.19>