

USO DA TERAPIA FOTODINÂMICA COM AZUL DE METILENO NA DESINFECÇÃO ENDODÔNTICA: REVISÃO DE LITERATURA

Mayara de Souza Gomes¹
Danielle Rego Coelho²
Mariely Pereira Fialho³
Aline Pinheiro Milagre⁴

RESUMO: A desinfecção do sistema de canais radiculares constitui uma etapa fundamental para o sucesso do tratamento endodôntico, uma vez que a persistência de microrganismos pode comprometer o prognóstico clínico. Apesar da utilização de técnicas convencionais de preparo químico-mecânico, a complexidade anatômica dos canais radiculares e a presença de biofilmes microbianos representam desafios para a eliminação completa dos agentes infecciosos. Nesse contexto, a terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT), associada ao azul de metileno como fotossensibilizador, tem sido investigada como estratégia complementar de desinfecção. O presente estudo tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão de literatura, a eficácia da terapia fotodinâmica mediada por azul de metileno como coadjuvante no tratamento endodôntico. A pesquisa apresenta caráter descritivo e abordagem qualitativa, considerando publicações científicas entre 2010 e 2026, consultadas nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e SciELO. A análise contempla os mecanismos de ação antimicrobiana, os protocolos de aplicação, os resultados encontrados nos estudos e as limitações relacionadas à utilização clínica dessa terapia. Busca-se, assim, reunir evidências científicas que contribuam para a compreensão de suas possibilidades de aplicação na Endodontia.

Palavras-chave: Endodontia. Terapia fotodinâmica. Azul de metileno. Desinfecção de canais radiculares. Biofilmes.

¹ Discente do curso de odontologia, 10º período, Centro Universitário de Balsas (Unibalsas).

² Discente do curso de odontologia, 10º período, Centro Universitário de Balsas (Unibalsas).

³ Discente do curso de odontologia, 10º período, Centro Universitário de Balsas (Unibalsas).

⁴ Especialista e mestre em Endodontia.

1 INTRODUÇÃO

A Endodontia é uma especialidade odontológica responsável pela prevenção, diagnóstico e tratamento das alterações que acometem a polpa dentária e os tecidos perirradiculares. Entre os principais fatores associados ao desenvolvimento e à persistência das doenças endodônticas, destaca-se a presença de microrganismos no sistema de canais radiculares, cuja eliminação ou redução significativa constitui um dos principais objetivos do tratamento. Nesse contexto, a adequada desinfecção dos canais radiculares representa uma etapa fundamental para o controle das infecções e para o estabelecimento de condições favoráveis à reparação dos tecidos periapicais (SIQUEIRA; RÔÇAS, 2014).

A complexidade anatômica do sistema de canais radiculares representa um dos principais desafios enfrentados durante o tratamento endodôntico. A presença de canais acessórios, ramificações, istmos, irregularidades e túbulos dentinários pode dificultar o acesso dos instrumentos e das soluções irrigadoras a determinadas regiões. Além disso, os microrganismos podem se organizar em comunidades estruturadas denominadas biofilmes, que apresentam mecanismos de proteção capazes de aumentar sua tolerância aos agentes antimicrobianos. Essas características podem favorecer a permanência de microrganismos mesmo após a realização do preparo químico-mecânico convencional (NEELAKANTAN et al., 2017).

Entre os microrganismos relacionados às infecções endodônticas, destaca-se *Enterococcus faecalis*, frequentemente investigado em estudos sobre infecções persistentes e secundárias. Essa bactéria apresenta características que favorecem sua sobrevivência em condições ambientais adversas, incluindo a capacidade de aderência às superfícies dentinárias e de participação na formação de biofilmes. Entretanto, as infecções endodônticas apresentam natureza predominantemente polimicrobiana, sendo importante considerar a interação entre diferentes espécies bacterianas e, em determinadas situações, microrganismos fúngicos, como *Candida albicans* (NEELAKANTAN et al., 2017; PERSON; CRIELAARD; ÖZOK, 2017).

O tratamento endodôntico convencional fundamenta-se na associação entre instrumentação mecânica, irrigação química e, quando indicada, utilização de medicação intracanal. A instrumentação permite a modelagem dos canais radiculares e a remoção de parte

do conteúdo contaminado, enquanto as soluções irrigadoras atuam na limpeza de regiões que não podem ser alcançadas diretamente pelos instrumentos.

Entretanto, a eficácia desse processo depende de diferentes fatores, como as características anatômicas dos canais, a composição química das soluções utilizadas e os métodos empregados para sua distribuição e renovação (BOUTSIOUKIS; ARIAS-MOLIZ, 2022). Entre as substâncias utilizadas durante o preparo químico-mecânico, o hipoclorito de sódio (NaOCl) destaca-se por sua ação antimicrobiana e capacidade de dissolução de matéria orgânica. Essa solução pode ser empregada em diferentes concentrações, incluindo 2,5% e 5,25%, conforme o protocolo adotado. Por outro lado, o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), frequentemente utilizado na concentração de 17%, apresenta ação quelante e contribui para a remoção da porção inorgânica da smear layer, camada de resíduos produzida durante a instrumentação. A associação dessas substâncias integra diferentes protocolos de irrigação, embora sua utilização exija atenção às propriedades químicas, às limitações e aos possíveis efeitos sobre os tecidos periapicais (BOUTSIOUKIS; ARIAS-MOLIZ, 2022).

Além da escolha das soluções irrigadoras, diferentes métodos de ativação têm sido investigados com o objetivo de favorecer a limpeza e a desinfecção dos canais radiculares. Entre essas técnicas, destacam-se a irrigação ultrassônica passiva, a irrigação sônica, a ativação dinâmica manual e os sistemas de pressão apical negativa. A ativação dinâmica manual consiste na movimentação repetida de um cone de guta-percha adaptado ao canal radicular preenchido com solução irrigadora, com a finalidade de promover maior deslocamento do líquido. Essas estratégias procuram melhorar a circulação das soluções e ampliar seu contato com regiões anatômicas de difícil acesso (BOUTSIOUKIS; ARIAS-MOLIZ, 2022).

Apesar dos avanços tecnológicos relacionados à instrumentação e à irrigação endodôntica, a eliminação completa dos microrganismos ainda representa um desafio clínico. A persistência de biofilmes e a dificuldade de acesso a determinadas áreas do sistema de canais radiculares justificam a investigação de estratégias antimicrobianas complementares. Nesse cenário, a terapia fotodinâmica antimicrobiana, também denominada antimicrobial photodynamic therapy (aPDT), tem despertado interesse como recurso coadjuvante ao tratamento endodôntico convencional (DE MEYER et al., 2017). A terapia fotodinâmica antimicrobiana baseia-se na interação entre três componentes fundamentais: um agente fotossensibilizador, uma fonte luminosa com comprimento de onda adequado e o oxigênio

presente no meio. Após a absorção da energia luminosa pelo fotossensibilizador, ocorrem reações fotoquímicas que podem resultar na formação de espécies reativas de oxigênio, incluindo o oxigênio singlete. Essas espécies apresentam capacidade de provocar danos oxidativos em estruturas celulares, como membranas, proteínas e componentes genéticos dos microrganismos, contribuindo para sua inativação (DE MEYER et al., 2017).

Entre os agentes fotossensibilizadores investigados na Odontologia, o azul de metileno destaca-se por suas propriedades físico-químicas e potencial antimicrobiano. Trata-se de um composto pertencente à classe das fenotiazinas, com característica hidrofílica e boa solubilidade em água. Sua capacidade de absorção luminosa, especialmente na região vermelha do espectro visível, permite sua utilização em protocolos fotodinâmicos que empregam fontes luminosas compatíveis, frequentemente próximas de 660 nm. Essas características, associadas à disponibilidade e ao custo relativamente acessível, contribuem para o interesse científico em sua aplicação na desinfecção endodôntica (MILAGRE, 2024).

A utilização do azul de metileno como fotossensibilizador tem sido investigada com o objetivo de ampliar a ação antimicrobiana sobre microrganismos presentes nos canais radiculares. Estudos experimentais e clínicos avaliaram diferentes protocolos de terapia fotodinâmica, considerando aspectos como a concentração do fotossensibilizador, o tempo de pré-irradiação, o comprimento de onda, a potência da fonte luminosa e o tempo de exposição. A diversidade desses parâmetros pode influenciar os resultados obtidos e dificultar a comparação direta entre as pesquisas (GARCEZ et al., 2010; WONG et al., 2021).

Garcez et al. (2010) investigaram os efeitos antimicrobianos da terapia fotodinâmica em pacientes com polpas necróticas e lesões periapicais, contribuindo para o desenvolvimento das pesquisas sobre sua aplicação clínica. Posteriormente, Garcez et al. (2013) avaliaram a associação da terapia fotodinâmica ao tratamento endodôntico convencional em pacientes com microbiota resistente a antibióticos. Esses estudos representam contribuições para a investigação de estratégias complementares de desinfecção, embora seus resultados devam ser interpretados considerando as características metodológicas e os protocolos empregados.

As evidências científicas disponíveis também incluem revisões sistemáticas destinadas à avaliação da eficácia da terapia fotodinâmica como complemento ao tratamento endodôntico. Neves et al. (2020) e Wong et al. (2021) abordaram a aplicação clínica e os diferentes protocolos de terapia fotodinâmica, respectivamente. A análise conjunta dessas investigações é relevante

para compreender as possibilidades de utilização da técnica, bem como as limitações relacionadas à heterogeneidade dos estudos, aos métodos de avaliação microbiológica e à ausência de uniformidade entre os protocolos terapêuticos. Além da terapia fotodinâmica, outras formas de ativação do azul de metileno vêm sendo investigadas. Milagre (2024), em estudo experimental, avaliou a sonoativação do azul de metileno em diferentes concentrações para a descontaminação de biofilmes mistos de *Enterococcus faecalis* e *Candida albicans* em fragmentos de dentina humana. A autora observou redução da carga microbiana nos grupos submetidos ao azul de metileno associado ao ultrassom, embora os resultados tenham sido inferiores aos obtidos com hipoclorito de sódio a 2,5% nas condições experimentais analisadas. Embora a terapia sonodinâmica utilize um mecanismo de ativação diferente da terapia fotodinâmica, esses resultados contribuem para a discussão sobre as propriedades antimicrobianas do azul de metileno e a influência dos protocolos de ativação sobre sua eficácia.

Nesse contexto, torna-se importante distinguir os resultados obtidos com diferentes modalidades terapêuticas, uma vez que a ativação luminosa e a ativação ultrassônica apresentam mecanismos físicos distintos. Além disso, os resultados laboratoriais não podem ser automaticamente extrapolados para a prática clínica, considerando as diferenças entre os modelos experimentais e as condições encontradas durante o tratamento de pacientes. A análise crítica das evidências científicas deve, portanto, considerar não apenas a redução microbiológica observada, mas também as características dos protocolos, a segurança dos procedimentos e a relevância clínica dos resultados.

5

Diante dessas considerações, a presente revisão de literatura tem como objetivo analisar a efetividade da terapia fotodinâmica associada ao azul de metileno como coadjuvante na desinfecção de canais radiculares. Busca-se compreender seus mecanismos de ação, avaliar as evidências disponíveis sobre sua atividade antimicrobiana, comparar sua utilização complementar ao preparo químico-mecânico convencional e identificar as principais limitações descritas na literatura científica, contribuindo para uma compreensão fundamentada de suas possibilidades de aplicação na Endodontia.

2 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura, de natureza descritiva e abordagem qualitativa, desenvolvida com a finalidade de analisar as evidências científicas

disponíveis acerca da utilização da terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT), mediada pelo azul de metileno, como método coadjuvante na desinfecção do sistema de canais radiculares.

A pesquisa fundamenta-se na análise de publicações científicas relacionadas à Endodontia, contemplando estudos que investigam a atividade antimicrobiana da terapia fotodinâmica, seus mecanismos de ação, protocolos de aplicação, eficácia e limitações clínicas. A revisão busca reunir e interpretar criticamente os conhecimentos disponíveis, permitindo identificar convergências, divergências e lacunas existentes na literatura.

2.1 Pergunta norteadora

A elaboração da pergunta norteadora considerou a necessidade de compreender a efetividade da terapia fotodinâmica mediada pelo azul de metileno quando utilizada como recurso complementar ao tratamento endodôntico convencional.

Dessa forma, estabeleceu-se a seguinte questão de pesquisa: Qual é a efetividade da terapia fotodinâmica antimicrobiana mediada pelo azul de metileno, quando associada ao preparo químico-mecânico convencional, na redução da carga microbiana do sistema de canais radiculares?

6

2.2 Estratégia de busca

A busca bibliográfica foi planejada para as bases de dados eletrônicas

PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e Scientific Electronic Library Online (SciELO), considerando sua relevância para a divulgação de pesquisas científicas nas áreas da saúde e da Odontologia.

Para a identificação das publicações pertinentes ao tema, foram selecionados os seguintes termos de busca, em língua inglesa: photodynamic therapy, antimicrobial photodynamic therapy, methylene blue, endodontics, root canal treatment e root canal disinfection.

Os termos foram organizados em combinações com os operadores booleanos AND e OR, de modo a relacionar a terapia fotodinâmica, o azul de metileno e a desinfecção endodôntica. A estratégia foi estruturada para favorecer a identificação de estudos relacionados ao tema, considerando as particularidades dos mecanismos de busca de cada base consultada.

O levantamento bibliográfico compreende publicações do período de 2010 a 2026, permitindo a inclusão de pesquisas pioneiras relevantes, como Garcez et al. (2010), e de

investigações mais recentes, como Das et al. (2026), que contribuem para a atualização das evidências científicas sobre a terapia fotodinâmica na Endodontia.

2.3 Critérios de inclusão e exclusão

Foram estabelecidos como critérios de inclusão artigos científicos publicados entre 2010 e 2026, nos idiomas português e inglês, disponíveis na íntegra e relacionados à utilização da terapia fotodinâmica antimicrobiana na desinfecção endodôntica.

Foram considerados estudos clínicos, pesquisas laboratoriais *in vitro* e revisões sistemáticas que abordassem a eficácia antimicrobiana da técnica, os protocolos de aplicação, a utilização do azul de metileno como fotossensibilizador e sua associação ao tratamento endodôntico convencional.

Como critérios de exclusão, foram definidos estudos duplicados, publicações sem acesso ao texto completo, trabalhos que não apresentassem relação com os objetivos da pesquisa e investigações que abordassem exclusivamente aplicações da terapia fotodinâmica em áreas distintas da Endodontia, sem contribuição relevante para a compreensão do tema.

2.4 Seleção dos estudos e extração dos dados

7

A seleção dos estudos será realizada inicialmente por meio da leitura dos títulos e resumos das publicações identificadas nas bases de dados. Posteriormente, os artigos considerados pertinentes serão submetidos à leitura integral, com o objetivo de verificar sua adequação aos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos.

As informações relevantes serão organizadas de maneira estruturada, considerando os autores, o ano de publicação, o delineamento metodológico, os objetivos, os protocolos utilizados e os principais resultados apresentados.

Nos estudos que investigam diretamente a terapia fotodinâmica mediada pelo azul de metileno, serão observados aspectos como a concentração do fotossensibilizador, o comprimento de onda da fonte luminosa, o tempo de pré-irradiação, o período de exposição à luz e os resultados relacionados à redução da carga microbiana.

Também serão consideradas as informações referentes aos microrganismos avaliados, especialmente *Enterococcus faecalis*, bem como os métodos utilizados para mensurar a eficácia antimicrobiana.

2.5 Análise e interpretação dos dados

A análise dos estudos será desenvolvida mediante leitura crítica e comparação das evidências científicas selecionadas, buscando identificar semelhanças, diferenças e limitações relacionadas à aplicação da terapia fotodinâmica na desinfecção endodôntica.

Os resultados serão organizados em uma síntese descritiva, considerando a eficácia antimicrobiana, os parâmetros de aplicação e as possíveis vantagens da associação da terapia fotodinâmica ao preparo químico-mecânico convencional.

A interpretação dos achados também contemplará as limitações metodológicas dos estudos, especialmente as diferenças entre protocolos experimentais e clínicos, permitindo uma avaliação crítica das evidências disponíveis.

Por se tratar de uma revisão de literatura fundamentada em publicações científicas previamente divulgadas, não haverá participação direta de seres humanos nem coleta de dados pessoais. Serão respeitados os princípios de integridade acadêmica, mediante a identificação e a adequada citação das fontes utilizadas, conforme as normas vigentes.

3 RESULTADOS

A literatura selecionada para fundamentar esta revisão contempla estudos clínicos, investigações laboratoriais e revisões sistemáticas relacionados à utilização da terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) na Endodontia. As publicações abordam diferentes aspectos da técnica, incluindo sua ação sobre microrganismos presentes no sistema de canais radiculares, sua associação ao tratamento convencional e as características dos protocolos utilizados.

Entre os estudos identificados, destacam-se as investigações clínicas de Garcez et al. (2010; 2013), a pesquisa laboratorial de Sabino et al. (2016) e as revisões de De Meyer et al. (2017), Neves et al. (2020), Wong et al. (2021) e Das et al. (2026). Essas publicações apresentam diferentes abordagens metodológicas para a avaliação da terapia fotodinâmica na desinfecção endodôntica.

Quadro 1 – Caracterização dos estudos utilizados na revisão

Autor/ano	Tipo de estudo	Objeto da investigação
Garcez et al. (2010)	Estudo clínico	Efeitos antimicrobianos da PDT em pacientes com necrose pulpar e lesão periapical
Garcez et al. (2013)	Estudo clínico preliminar	PDT associada ao tratamento convencional
Sabino et al. (2016)	Estudo in vitro	Inativação de <i>E. faecalis</i>
De Meyer et al. (2017)	Revisão sistemática	Terapia fotodinâmica em infecções endodônticas
Neves et al. (2020)	Revisão sistemática	Eficácia clínica da PDT
Wong et al. (2021)	Revisão sistemática	Protocolos de PDT
Milagre (2024)	Estudo experimental	Sonoativação do azul de metileno
Das et al. (2026)	Revisão sistemática	Efetividade da aPDT

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base nos estudos selecionados.

Garcez et al. (2010) investigaram os efeitos antimicrobianos da terapia fotodinâmica em pacientes com necrose pulpar e lesão periapical. Posteriormente, Garcez et al. (2013) avaliaram a associação da técnica ao tratamento endodôntico convencional em pacientes com microbiota resistente a antibióticos. Ambos os trabalhos abordaram a utilização clínica da terapia fotodinâmica como estratégia complementar de controle microbiano.

No âmbito laboratorial, Sabino et al. (2016) investigaram a inativação fotodinâmica de *Enterococcus faecalis* em canais radiculares, utilizando um modelo experimental in vitro. O estudo contribui para a avaliação da atividade antimicrobiana da técnica sobre uma espécie frequentemente empregada em pesquisas relacionadas às infecções endodônticas persistentes.

As revisões sistemáticas de De Meyer et al. (2017), Neves et al. (2020) e Wong et al. (2021) abordaram a eficácia da terapia fotodinâmica em diferentes contextos da desinfecção endodôntica. Entre os aspectos investigados encontram-se a utilização da técnica como complemento ao tratamento convencional e as diferenças entre os protocolos de aplicação.

O estudo de Das et al. (2026), selecionado como artigo-base desta revisão, apresenta uma revisão sistemática e meta-análise sobre a efetividade da terapia fotodinâmica antimicrobiana em infecções endodônticas. Sua inclusão permite contemplar uma publicação recente voltada à avaliação conjunta das evidências científicas sobre o tema.

Além dos trabalhos relacionados diretamente à terapia fotodinâmica, a dissertação de Milagre (2024) apresenta resultados experimentais sobre a atividade antimicrobiana do azul de metileno submetido à ativação ultrassônica. A pesquisa avaliou biofilmes mistos de *Enterococcus faecalis* e *Candida albicans*, cultivados em 119 fragmentos de dentina humana, distribuídos em sete grupos experimentais.

Nos grupos tratados com azul de metileno sonoativado, foram observadas reduções de 76,9%, 86,1% e 89,1% das unidades formadoras de colônias, nas concentrações de 50, 100 e 150 μM , respectivamente. O grupo tratado com azul de metileno a 100 μM , sem sonoativação, apresentou redução de 78,4%. Por sua vez, os grupos submetidos ao hipoclorito de sódio a 2,5%, com e sem sonoativação, apresentaram redução de 100% nas condições laboratoriais avaliadas (MILAGRE, 2024).

Os estudos reunidos abordam, portanto, diferentes dimensões da utilização de estratégias antimicrobianas complementares na Endodontia. As publicações sobre aPDT investigam sua aplicação clínica e laboratorial, enquanto o estudo de Milagre (2024) apresenta dados específicos sobre o azul de metileno submetido a outra modalidade de ativação.

A síntese dos trabalhos permite organizar as evidências segundo o tipo de estudo, a intervenção investigada e os desfechos avaliados. Essa organização constitui a base para a comparação crítica das publicações na seção de discussão.

4 DISCUSSÃO

A desinfecção do sistema de canais radiculares permanece como um dos principais desafios da Endodontia, especialmente em situações nas quais a complexidade anatômica e a organização dos microrganismos em biofilmes dificultam a eliminação da infecção. Nesse contexto, a terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) tem sido investigada como uma alternativa complementar ao preparo químico-mecânico convencional, com o objetivo de potencializar a redução da carga microbiana e contribuir para condições mais favoráveis ao sucesso do tratamento endodôntico.

A análise da literatura permite discutir a utilização da aPDT a partir de diferentes perspectivas, incluindo sua ação antimicrobiana, as propriedades do azul de metileno como fotossensibilizador, a influência dos protocolos de aplicação e as limitações relacionadas à incorporação da técnica na prática clínica. Entretanto, é necessário considerar que os estudos disponíveis apresentam diferenças metodológicas importantes, que podem interferir na interpretação e na comparação dos resultados.

O preparo químico-mecânico constitui a principal estratégia de controle da infecção endodôntica, associando a instrumentação dos canais radiculares à utilização de soluções irrigadoras. Boutsoukis e Arias-Moliz (2022) destacam a importância das propriedades dos irrigantes e dos diferentes métodos de irrigação para a limpeza e desinfecção do sistema de canais radiculares. Apesar dos avanços tecnológicos, a presença de irregularidades anatômicas pode dificultar a distribuição das soluções e comprometer sua atuação em determinadas regiões.

Essa dificuldade está relacionada, entre outros fatores, à presença de istmos, canais laterais, ramificações e túbulos dentinários, que podem funcionar como locais de permanência microbiana. Além disso, a organização dos microrganismos em biofilmes favorece sua sobrevivência em condições adversas e pode aumentar sua tolerância aos agentes antimicrobianos. Dessa maneira, a persistência da infecção não deve ser atribuída exclusivamente à resistência individual de determinadas espécies, mas também às características estruturais das comunidades microbianas e às limitações de acesso aos locais contaminados (NEELAKANTAN et al., 2017).

Diante dessas condições, a utilização de métodos complementares de desinfecção tem sido objeto de investigação científica. Entre essas possibilidades, a terapia fotodinâmica antimicrobiana apresenta um mecanismo de ação distinto daquele observado nas soluções irrigadoras convencionais. Sua atividade depende da associação entre um fotossensibilizador, uma fonte luminosa compatível e a disponibilidade de oxigênio, permitindo a formação de espécies reativas capazes de provocar danos às estruturas celulares dos microrganismos. De Meyer et al. (2017), ao investigarem a utilização da terapia fotodinâmica no tratamento de infecções endodônticas, contribuíram para a discussão sobre sua eficácia e suas limitações. A relevância dessa abordagem está na possibilidade de acrescentar um mecanismo antimicrobiano ao protocolo convencional, sem necessariamente substituir as etapas de instrumentação e irrigação. Entretanto, a aplicação clínica da técnica deve considerar as características do sistema

de canais radiculares e a possibilidade de distribuição desigual do fotossensibilizador e da energia luminosa.

Entre os fotossensibilizadores utilizados na terapia fotodinâmica, o azul de metileno apresenta características que justificam seu interesse na Endodontia. Sua capacidade de absorver luz na região vermelha do espectro visível permite sua associação a fontes luminosas compatíveis, favorecendo a ocorrência das reações fotoquímicas responsáveis pela formação de espécies reativas de oxigênio. Além disso, sua solubilidade em água e seu custo relativamente acessível representam aspectos favoráveis à investigação de protocolos voltados à desinfecção intracanal.

Entretanto, a utilização do azul de metileno não garante, isoladamente, uma atividade antimicrobiana uniforme. Sua eficácia pode depender da concentração empregada, do tempo de contato com os microrganismos, da penetração no biofilme e das características da fonte luminosa utilizada. Assim, a escolha do fotossensibilizador constitui apenas uma das etapas necessárias para o desenvolvimento de um protocolo fotodinâmico adequado.

Os estudos de Garcez et al. (2010) e Garcez et al. (2013) representam contribuições importantes para a investigação clínica da terapia fotodinâmica como complemento ao tratamento endodôntico. O primeiro trabalho avaliou seus efeitos antimicrobianos em pacientes com necrose pulpar e lesão periapical, enquanto o segundo investigou sua associação ao tratamento convencional em situações envolvendo microbiota resistente a antibióticos. Esses estudos demonstram o interesse em avaliar a técnica em condições clínicas, ampliando as investigações anteriormente desenvolvidas em ambientes laboratoriais.

Contudo, a interpretação dessas pesquisas exige atenção às características dos participantes, aos métodos de avaliação microbiológica e aos protocolos empregados. A redução da carga microbiana observada após uma intervenção representa um desfecho relevante, mas não deve ser considerada equivalente à comprovação de sucesso endodôntico em longo prazo. O prognóstico do tratamento depende de diferentes fatores, incluindo a adequada limpeza e modelagem dos canais, a obturação, o selamento coronário e as condições dos tecidos periapicais.

Outro aspecto relevante envolve a atividade da terapia fotodinâmica sobre microrganismos associados às infecções persistentes. Entre eles, destaca-se *Enterococcus faecalis*, frequentemente utilizado em modelos experimentais devido à sua capacidade de

adaptação e sobrevivência em condições desfavoráveis. Sabino et al. (2016) investigaram a inativação fotodinâmica dessa espécie em canais radiculares, contribuindo para a compreensão do potencial antimicrobiano da técnica em condições laboratoriais.

Apesar da importância desses modelos experimentais, deve-se considerar que as infecções endodônticas apresentam natureza predominantemente polimicrobiana. Dessa forma, os resultados obtidos em estudos que utilizam apenas uma espécie bacteriana podem não representar integralmente a complexidade microbiológica encontrada na prática clínica. A presença de diferentes microrganismos e suas interações dentro do biofilme podem modificar a resposta aos agentes antimicrobianos e influenciar os resultados dos protocolos de desinfecção.

Além disso, a localização dos microrganismos pode interferir na eficácia da terapia fotodinâmica. Persoon et al. (2017) discutiram a importância dos biofilmes extracanaís como possível fator de interferência na avaliação da terapia fotodinâmica antimicrobiana. Essa questão merece atenção porque a ação da técnica depende do contato do fotossensibilizador com as estruturas microbianas e da disponibilidade de energia luminosa e oxigênio no local de aplicação.

Consequentemente, a eficácia observada em determinadas condições experimentais não pode ser automaticamente generalizada para todas as situações clínicas. A presença de biofilmes em regiões de difícil acesso, especialmente fora dos limites do canal radicular, pode representar uma limitação para intervenções realizadas exclusivamente no ambiente intracanal. Esse aspecto reforça a importância de considerar as características anatômicas e microbiológicas durante a interpretação dos resultados.

A heterogeneidade dos protocolos também constitui uma questão central na análise da terapia fotodinâmica. Wong et al. (2021), em revisão sistemática e meta-análise em rede, investigaram diferentes protocolos de aplicação da técnica na desinfecção de canais radiculares. A comparação entre estudos dessa natureza deve considerar parâmetros como o tipo e a concentração do fotossensibilizador, o comprimento de onda, a potência da fonte luminosa, a energia aplicada e o tempo de exposição.

Essas variáveis podem modificar a quantidade de energia absorvida pelo fotossensibilizador e, consequentemente, influenciar a produção de espécies reativas de oxigênio. Além disso, diferenças na metodologia de avaliação microbiológica, na maturidade dos biofilmes e no tipo de amostra utilizada podem contribuir para resultados distintos entre as

pesquisas. Portanto, a ausência de uniformidade metodológica dificulta a definição de um protocolo clínico único e a comparação direta da eficácia entre diferentes intervenções.

A discussão sobre o azul de metileno também pode ser ampliada a partir de pesquisas que investigaram outras formas de ativação desse sensibilizador. Milagre (2024), em estudo experimental, avaliou a sonoativação do azul de metileno em diferentes concentrações sobre biofilmes mistos de *Enterococcus faecalis* e *Candida albicans*, cultivados em fragmentos de dentina humana.

A pesquisa demonstrou reduções de 76,9%, 86,1% e 89,1% nas contagens de unidades formadoras de colônias dos grupos tratados com azul de metileno sonoativado nas concentrações de 50, 100 e 150 μM , respectivamente. Em comparação, os grupos tratados com hipoclorito de sódio a 2,5%, associado ou não à sonoativação, apresentaram redução de 100% nas condições experimentais avaliadas (MILAGRE, 2024).

Embora esses resultados indiquem atividade antimicrobiana nos grupos submetidos ao azul de metileno, é importante destacar que a pesquisa utilizou ativação ultrassônica, diferentemente da terapia fotodinâmica, que depende de ativação luminosa. Portanto, os resultados não podem ser interpretados como evidência direta da eficácia da aPDT. Sua contribuição para a presente revisão está relacionada à investigação do azul de metileno como agente sensibilizador e à demonstração de que a concentração e as condições de ativação devem ser consideradas na avaliação de sua atividade antimicrobiana.

14

Outro aspecto relevante do estudo de Milagre (2024) é a comparação com o hipoclorito de sódio, uma vez que os resultados experimentais evidenciaram maior redução microbiana nos grupos tratados com essa solução. Entretanto, essa comparação não permite concluir que o hipoclorito de sódio seja superior a todos os protocolos fotodinâmicos, pois as modalidades de ativação e as condições experimentais não são equivalentes.

Nesse sentido, a terapia fotodinâmica deve ser compreendida como uma possível estratégia complementar ao preparo químico-mecânico, e não como substituta dos irrigantes convencionais. A capacidade de dissolução de matéria orgânica apresentada pelo hipoclorito de sódio, por exemplo, constitui uma propriedade importante para a limpeza endodôntica que não pode ser atribuída automaticamente à terapia fotodinâmica.

Além dos resultados microbiológicos, a literatura recente tem investigado possíveis repercussões clínicas da terapia fotodinâmica, incluindo a dor pós-operatória. Das et al. (2026),

em revisão sistemática e meta-análise sobre a utilização da terapia fotodinâmica antimicrobiana em infecções endodônticas, abordaram sua eficácia e os possíveis benefícios clínicos relacionados à associação com o tratamento convencional.

A investigação desses desfechos amplia a compreensão sobre a técnica, pois permite avaliar aspectos que ultrapassam a redução imediata da carga microbiana. Entretanto, a interpretação de resultados relacionados à dor pós-operatória deve considerar fatores como as condições pulpares e periapicais, os procedimentos realizados, os métodos de mensuração da dor e os períodos de acompanhamento. Além disso, resultados obtidos com diferentes fotossensibilizadores não devem ser atribuídos exclusivamente ao azul de metileno.

A análise das evidências disponíveis também permite identificar limitações relacionadas à aplicação clínica da terapia fotodinâmica. Entre elas, destacam-se a ausência de padronização dos protocolos, as diferenças entre estudos laboratoriais e clínicos e a necessidade de investigações que avaliem desfechos endodônticos em períodos prolongados.

Embora a redução da carga microbiana constitua um indicador importante da atividade antimicrobiana, a avaliação do sucesso do tratamento endodôntico envolve outros parâmetros, como a ausência de sinais e sintomas, a manutenção da função dentária e a evolução favorável dos tecidos periapicais. Dessa maneira, a demonstração de atividade antimicrobiana em condições experimentais não é suficiente, isoladamente, para estabelecer a superioridade clínica de determinado protocolo.

Também devem ser consideradas as limitações da própria literatura utilizada nesta revisão, uma vez que a inclusão de diferentes delineamentos metodológicos, como estudos laboratoriais, pesquisas clínicas e revisões sistemáticas, exige cautela na interpretação conjunta dos achados. Esses estudos apresentam níveis distintos de evidência e podem investigar desfechos diferentes, tornando inadequada a comparação direta de todos os resultados.

Diante dessas considerações, a terapia fotodinâmica antimicrobiana mediada pelo azul de metileno apresenta fundamentos biológicos que justificam sua investigação como recurso coadjuvante na desinfecção endodôntica. Entretanto, a diversidade dos protocolos e as limitações metodológicas das pesquisas indicam a necessidade de novos estudos clínicos controlados, com parâmetros bem definidos e acompanhamento adequado.

Assim, a contribuição da terapia fotodinâmica para a Endodontia deve ser analisada de maneira crítica, considerando seus possíveis benefícios antimicrobianos, sua integração ao

tratamento convencional e as evidências disponíveis sobre sua segurança e eficácia. A consolidação de protocolos padronizados poderá contribuir para uma aplicação clínica mais previsível, respeitando as particularidades anatômicas e microbiológicas de cada situação endodôntica.

5 CONCLUSÃO

A partir da literatura analisada, observa-se que a terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT), mediada pelo azul de metileno, apresenta potencial como método coadjuvante na desinfecção do sistema de canais radiculares. Sua utilização fundamenta-se na capacidade de promover a inativação de microrganismos por meio de reações fotoquímicas, contribuindo para a investigação de estratégias complementares ao preparo químico-mecânico convencional.

Os estudos abordados indicam que a eficácia da terapia fotodinâmica pode ser influenciada por diferentes fatores, como a concentração do fotossensibilizador, o tempo de pré-irradiação, o comprimento de onda, a potência da fonte luminosa e as características microbiológicas e anatômicas dos canais radiculares. A diversidade desses parâmetros, associada às diferenças metodológicas entre as pesquisas, dificulta a comparação dos resultados e a definição de protocolos clínicos padronizados.

Embora a terapia fotodinâmica apresente perspectivas favoráveis para o controle microbiano, as evidências discutidas ainda não permitem estabelecer sua superioridade em relação aos métodos convencionais de desinfecção. Dessa forma, sua aplicação deve ser compreendida como uma possibilidade complementar, sem substituir a instrumentação e a irrigação química, que permanecem fundamentais para o tratamento endodôntico.

Conclui-se, portanto, que a terapia fotodinâmica mediada pelo azul de metileno constitui uma abordagem promissora na Endodontia, porém são necessárias novas investigações clínicas, com metodologias padronizadas e acompanhamento em longo prazo, para esclarecer sua efetividade e estabelecer parâmetros seguros e previsíveis para sua utilização na prática clínica.

publicados nos últimos cinco anos, sem excluir estudos clássicos indispensáveis.

REFERÊNCIAS

BOUTSIOUKIS, C.; ARIAS-MOLIZ, M. T. Present status and future directions – irrigants and irrigation methods. *International Endodontic Journal*, v. 55, supl. 3, p. 588–612, 2022. DOI: 10.1111/iej.13739.

DAS, U.; GIRI, J.; AYER, A. Effectiveness of antimicrobial photodynamic therapy in endodontic infection: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, v. 26, art. 116, 2026. DOI: 10.1186/s12903-025-07501-1.

GARCEZ, A. S.; NUÑEZ, S. C.; HAMBLIN, M. R.; RIBEIRO, M. S. Antimicrobial effects of photodynamic therapy on patients with necrotic pulps and periapical lesion. *Journal of Endodontics*, v. 34, n. 2, p. 138–142, 2008. DOI: 10.1016/j.joen.2007.10.020.

GARCEZ, A. S.; NUÑEZ, S. C.; HAMBLIN, M. R.; SUZUKI, H.; RIBEIRO, M. S. Photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment in patients with antibiotic-resistant microflora: a preliminary report. *Journal of Endodontics*, v. 36, n. 9, p. 1463–1466, 2010. DOI: 10.1016/j.joen.2010.06.001.

MILAGRE, Aline Pinheiro. Avaliação da sonoativação do azul de metileno em diferentes concentrações na descontaminação da dentina radicular. 2024. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Centro de Pesquisas Odontológicas São Leopoldo Mandic, Campinas, 2024.

NEELAKANTAN, P.; ROMERO, M.; VERA, J.; DAOOD, U.; KHAN, A. U.; YAN, A.; CHEUNG, G. S. P. Biofilms in endodontics—current status and future directions. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 18, n. 8, art. 1748, 2017. DOI: 10.3390/ijms18081748.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; MERCADE, M. Photodynamic therapy in endodontics. *International Endodontic Journal*, v. 52, n. 6, p. 760–774, 2019. DOI: 10.1111/iej.13057.

BARBOSA, A. F. A. et al. Photodynamic therapy for root canal disinfection in endodontics: an umbrella review. *Lasers in Medical Science*, v. 37, n. 6, p. 2571–2580, 2022. DOI: 10.1007/s10103-022-03569-1.