

EFEITOS CELULARES DA FOTOBIMODULAÇÃO EM TRATAMENTOS ODONTOLÓGICOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Alexandre Lopes Andrade¹
Brenda de Oliveira Rodrigues¹
Maria Eduarda Paiva Ávila¹
Fabília Vitor de Paula Corrêa¹
Heloisa de Souza Prudente Protes Ferreira¹
Mariana de Faria Gardingo Diniz²

marianafariagarding@gmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Ciências da saúde

RESUMO

A fotobiomodulação (PBM) consiste na utilização de luz de baixa intensidade, emitida por lasers ou diodos emissores de luz (LEDs), capaz de desencadear respostas biológicas por meio da interação com cromóforos celulares, promovendo efeitos analgésicos, anti-inflamatórios e bioestimuladores. Na Odontologia, essa terapia tem sido amplamente empregada como recurso adjuvante em diferentes especialidades, favorecendo o reparo e a regeneração dos tecidos, além de contribuir para o controle da dor e da inflamação. O presente estudo teve como objetivo revisar a literatura científica acerca dos efeitos celulares da fotobiomodulação nos tratamentos odontológicos, enfatizando seus mecanismos de ação, suas principais aplicações clínicas e os fatores relacionados à sua eficácia terapêutica. Trata-se de uma revisão de literatura, de abordagem qualitativa e objetivo descritivo, realizada por meio de pesquisas nas bases Google Acadêmico, SciELO e PubMed, incluindo estudos publicados entre 2020 e 2026. Os achados demonstraram que a fotobiomodulação estimula a produção de ATP, modula a resposta inflamatória, favorece a proliferação e diferenciação celular, promove angiogênese e acelera o reparo tecidual. Entretanto, sua eficácia depende da adequada seleção dos parâmetros de irradiação, evidenciando a necessidade de protocolos clínicos padronizados para ampliar a previsibilidade e a segurança da terapia.

PALAVRAS-CHAVE: fotobiomodulação; regeneração tecidual; cicatrização; odontologia.

¹ Graduandos em Odontologia do Centro Universitário Vértice - Univértix.

² Doutora em Educação pela FUNIBER (2025). Mestre em Engenharia Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos com ênfase em Tratamento de Águas e Efluentes pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2010). Especialista em Ensino da Física (2012) e Gestão Ambiental (2007). Bacharel e Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Severino Sombra (2005). Pró-Reitora de Regulação do Centro Universitário Vértice - Univértix. Professora do Centro Universitário Vértice - Univértix.

1 INTRODUÇÃO

A fotobiomodulação teve sua origem na década de 1960, a partir dos estudos conduzidos pelo pesquisador húngaro Endre Mester. Durante experimentos com laser de baixa potência, observou-se que a irradiação não apresentava efeito antitumoral, como inicialmente esperado, mas promovia aceleração da cicatrização de feridas e estimulava o crescimento de pelos em modelos animais. Esses achados demonstraram que a luz de baixa intensidade era capaz de induzir respostas biológicas benéficas nos tecidos (Mester; Mester, 2017).

Conceitualmente, a fotobiomodulação consiste na aplicação de luz de baixa intensidade por meio de lasers ou diodos emissores de luz (LED), com o objetivo de estimular processos celulares e metabólicos. Essa interação promove aumento da síntese de adenosina trifosfato (ATP), modulação da resposta inflamatória, estímulo ao reparo e à regeneração tecidual, além de exercer efeito analgésico, sem provocar alterações térmicas significativas (Bernardes; Cunha; Vilela Júnior, 2024).

Os efeitos terapêuticos iniciam-se com a absorção dos fótons, principalmente nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo, pela citocromo c oxidase, enzima localizada na cadeia respiratória mitocondrial. Esse processo aumenta a atividade mitocondrial, favorece a síntese de ATP, modula a produção de espécies reativas de oxigênio e ativa vias de sinalização celular relacionadas à proliferação e migração celular, à síntese de matriz extracelular, à modulação da resposta inflamatória e ao reparo tecidual (Glass, 2021; Eltahir *et al.*, 2025).

Em razão desses mecanismos, a fotobiomodulação tem sido amplamente empregada em diferentes especialidades odontológicas, como cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial, implantodontia, periodontia, endodontia e ortodontia. Entre suas principais aplicações destacam-se a prevenção e o tratamento da mucosite oral, o controle da dor pós-operatória e ortodôntica, o manejo da síndrome da ardência bucal, da xerostomia, do líquen plano oral, da hipersensibilidade dentinária e dos distúrbios temporomandibulares, além do estímulo ao reparo de tecidos moles e ósseos. Quando aplicada com protocolos adequados, essa terapia apresenta

resultados clínicos favoráveis em diferentes condições (Le et al., 2023; Cronshaw et al., 2020; Dias et al., 2022).

Os lasers utilizados na fotobiomodulação operam predominantemente nos comprimentos de onda do vermelho (660 nm) e do infravermelho próximo (780–830 nm). A escolha do comprimento de onda depende da profundidade do tecido-alvo e dos objetivos terapêuticos. Entretanto, sua eficácia está diretamente relacionada à adequada seleção dos parâmetros de dosimetria, como comprimento de onda, potência, densidade de energia, tempo de irradiação e frequência das aplicações, fatores que influenciam significativamente a resposta biológica dos tecidos (Olkoski et al., 2021; Cronshaw et al., 2020).

Clinicamente, a fotobiomodulação pode ser empregada nos períodos pré-operatório, transoperatório e pós-operatório para modular a resposta inflamatória, reduzir a dor, minimizar o edema e favorecer o reparo tecidual. Apesar dos resultados promissores, ainda existe considerável heterogeneidade entre os protocolos de aplicação, especialmente quanto aos parâmetros de dosimetria e ao momento ideal da intervenção, dificultando a comparação entre estudos e a padronização de condutas baseadas em evidências (Cronshaw et al., 2020).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca dos efeitos celulares da fotobiomodulação nos tratamentos odontológicos, enfatizando seus mecanismos de ação, suas principais aplicações clínicas e os fatores que influenciam sua eficácia terapêutica. Justifica-se pela necessidade de reunir e analisar as evidências científicas sobre esses mecanismos e sua influência no reparo e na regeneração dos tecidos orais, contribuindo para uma prática clínica mais segura, previsível e fundamentada em evidências, além de incentivar o desenvolvimento de estudos voltados à padronização dos protocolos clínicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Mecanismo Fotoquímico Primário

A fotobiomodulação (FBM) baseia-se na absorção de fótons de luz vermelha ou infravermelha próxima por cromóforos celulares, tendo como principal fotoceptor a citocromo c oxidase (CCO), enzima terminal da cadeia respiratória mitocondrial. A absorção da energia luminosa promove alterações no estado redox da CCO, aumentando sua atividade catalítica, favorecendo o transporte de elétrons e estimulando a síntese de ATP por meio da fosforilação oxidativa. Esse aumento da atividade mitocondrial desencadeia respostas bioquímicas que sustentam os efeitos terapêuticos da FBM (Mitrofanis *et al.*, 2022).

O mecanismo mais aceito para explicar esses efeitos envolve a fotodissociação do óxido nítrico (NO) ligado reversivelmente à CCO. Em condições de estresse celular ou hipóxia, o NO compete com o oxigênio pelos sítios de ligação da enzima, reduzindo sua atividade. A irradiação promove a liberação do NO, restabelecendo a função da CCO, aumentando o consumo de oxigênio e a produção de ATP. Além disso, ocorre aumento transitório de espécies reativas de oxigênio (EROs) em níveis fisiológicos, que atuam como moléculas sinalizadoras. Esses eventos ativam vias de sinalização intracelular, incluindo aquelas mediadas por Ca^{2+} , AMPc e fatores de transcrição, regulando proliferação e diferenciação celular, modulação da resposta inflamatória, síntese de matriz extracelular, reparo tecidual e regeneração (Kashiwagi *et al.*, 2023).

2.2 Sinalização Celular Secundária

Após a absorção de luz pelos cromóforos, especialmente pela CCO, ocorre uma cascata de eventos moleculares, celulares e teciduais que promove a modulação do tecido irradiado. A ativação da CCO aumenta o transporte de elétrons, o consumo de oxigênio e a síntese de ATP, além de induzir a produção controlada de ROS. Como consequência, há restauração da função celular, regulação neuronal e do estresse oxidativo, liberação de fatores de crescimento e redução da dor, decorrente do bloqueio parcial da transmissão de impulsos elétricos entre os neurônios (Dos Santos; Invenção, 2024).

O aumento transitório de ATP e a alteração do potencial de membrana mitocondrial desencadeiam vias de sinalização celular responsáveis pelos efeitos terapêuticos da fotobiomodulação. Entretanto, a intensidade dessas respostas

depende diretamente da dose de energia aplicada. Existe uma janela terapêutica na qual doses insuficientes não promovem resposta biológica significativa, enquanto doses excessivas podem inibir os mecanismos estimuladores. Essa relação bifásica justifica a necessidade de protocolos clínicos bem estabelecidos quanto ao comprimento de onda, potência, densidade de energia e tempo de aplicação (Valter *et al.*, 2024).

Outro evento importante é a fotodissociação do óxido nítrico da CCO. Em condições de hipóxia ou estresse celular, o NO compete com o oxigênio pelos sítios de ligação da enzima, reduzindo sua atividade. A absorção da luz rompe essa ligação, restabelecendo a fosforilação oxidativa e aumentando a produção de ATP. O NO liberado também atua como molécula sinalizadora, promovendo vasodilatação, aumento da perfusão sanguínea, maior oxigenação tecidual e melhor oferta de nutrientes às áreas lesionadas, favorecendo o reparo e a cicatrização.

As ROS produzidas durante a fotobiomodulação também exercem importante função sinalizadora. Em baixas concentrações, atuam como segundos mensageiros capazes de ativar proteínas reguladoras e fatores de transcrição, sem provocar dano oxidativo. Dessa forma, contribuem para a manutenção da homeostase celular e para a ativação de mecanismos antioxidantes endógenos.

Entre as principais vias ativadas destaca-se a modulação do cálcio intracelular por meio do canal iônico TRPV1. Quando ativado, esse canal permite o influxo de Ca^{2+} , importante segundo mensageiro envolvido na ativação de proteínas reguladoras e de genes relacionados à proliferação celular, diferenciação, migração celular e liberação de fatores de crescimento, processos essenciais para o reparo tecidual e a regeneração (Frankowski *et al.*, 2025).

Em conjunto, o NO, as ROS e o Ca^{2+} ativam fatores de transcrição nucleares responsáveis pela expressão de genes relacionados à produção de proteínas antioxidantes, fatores de crescimento, síntese de colágeno, formação da matriz extracelular, proliferação celular e reparo tecidual, além de reduzirem a expressão de mediadores pró-inflamatórios, favorecendo a resolução da inflamação e acelerando a cicatrização (Da Silva *et al.*, 2023).

Além do mecanismo mitocondrial, evidências recentes demonstram que a luz também pode atuar diretamente sobre proteínas localizadas na membrana plasmática. Frankowski *et al.* (2025) descrevem a participação de opsinas, do receptor de hidrocarbonetos arila (AHR), do canal TRPV1 e dos receptores acoplados à proteína G (GPCR). As opsinas funcionam como proteínas fotossensíveis capazes de converter estímulos luminosos em sinais intracelulares. O AHR atua como sensor celular, regulando genes relacionados à inflamação, diferenciação e resposta ao estresse. Os GPCR desencadeiam cascatas de sinalização que modulam proliferação, migração, secreção celular e resposta inflamatória, complementando os efeitos iniciados na mitocôndria.

Um terceiro mecanismo envolve a ativação da via do fator de crescimento transformador beta 1 (TGF- β 1), importante regulador da remodelação tecidual. Após sua ativação, ocorre inicialmente o recrutamento das proteínas Smad, responsáveis pela transmissão do sinal ao núcleo celular. Em seguida, são ativadas vias complementares, como MAPK, NF- κ B e ATF-4. A MAPK participa da proliferação, diferenciação e crescimento celular; o NF- κ B regula sobrevivência celular, inflamação e imunidade; e a ATF-4 está relacionada à resposta ao estresse, diferenciação celular e reparo tecidual (Frankowski *et al.*, 2025).

A ativação integrada dessas vias promove a expressão de genes envolvidos na síntese de colágeno, proteínas da matriz extracelular, fatores de crescimento e enzimas relacionadas à cicatrização. Como resultado, observa-se aumento da proliferação de fibroblastos, estímulo à angiogênese, reorganização da matriz extracelular e aceleração da regeneração tecidual. Assim, a fotobiomodulação exerce seus efeitos terapêuticos por meio da interação entre mecanismos mitocondriais, receptores de membrana e vias de sinalização intracelular, justificando sua eficácia na modulação da inflamação, controle da dor e aceleração do reparo dos tecidos.

2.3 Efeitos Biológicos Decorrentes

Os efeitos biológicos da fotobiomodulação (PBM) resultam da ativação das vias de sinalização intracelular desencadeadas pelos mecanismos moleculares previamente descritos. Como consequência, observa-se aumento da proliferação,

viabilidade, migração e diferenciação celular, processos fundamentais para o reparo e a regeneração dos tecidos. Estudos demonstram que a terapia com laser de baixa intensidade estimula a proliferação e a migração de fibroblastos, favorecendo a cicatrização dos tecidos moles, além de promover a diferenciação de osteoblastos e células-tronco, contribuindo para a regeneração óssea e periodontal (Da Silva *et al.*, 2023).

Em tecidos orais, a PBM aumenta a atividade metabólica dos fibroblastos, acelerando a fase proliferativa da cicatrização e estimulando a síntese de colágeno, a deposição da matriz extracelular e a reorganização do tecido conjuntivo. Esses efeitos favorecem o reparo periodontal e a recuperação dos tecidos após procedimentos cirúrgicos, evidenciando o potencial da terapia como adjuvante na prática odontológica (Dipalma *et al.*, 2023).

Além de estimular o reparo tecidual, a fotobiomodulação exerce importante ação imunomoduladora por regular a resposta inflamatória. Um dos mecanismos mais descritos é a modulação da polarização dos macrófagos, promovendo a transição do fenótipo M1, associado à resposta pró-inflamatória, para o fenótipo M2, relacionado ao reparo tecidual e à resolução da inflamação. Paralelamente, reduz a expressão de citocinas pró-inflamatórias, como TNF- α e IL-1 β , e aumenta a produção de mediadores anti-inflamatórios, como IL-10 e TGF- β , favorecendo um microambiente propício à cicatrização. Evidências também indicam que a PBM pode modular a atividade de linfócitos T e células dendríticas, contribuindo para o equilíbrio da resposta imune e justificando sua aplicação em condições como mucosite oral, procedimentos cirúrgicos e pós-operatórios odontológicos (Al Balah; Rafie; Osama, 2025).

Outro importante efeito biológico da PBM é o estímulo à angiogênese. Estudos demonstram aumento da expressão de fatores pró-angiogênicos, como o fator induzido por hipóxia (HIF-1 α) e o fator de crescimento endotelial vascular (VEGF), responsáveis pela formação de novos vasos sanguíneos. Em modelos experimentais, a terapia promove maior densidade vascular e aumento da expressão de marcadores endoteliais, como CD31, favorecendo a perfusão tecidual e o aporte de oxigênio e

nutrientes. Esses efeitos aceleram os processos de reparo e regeneração, sendo particularmente relevantes em procedimentos odontológicos que dependem de cicatrização eficiente (Zhong *et al.*, 2024).

A fotobiomodulação também apresenta reconhecido efeito analgésico, constituindo uma de suas principais aplicações clínicas na Odontologia. Esse efeito decorre da modulação da excitabilidade das fibras nociceptivas A δ e C, reduzindo a transmissão dos estímulos dolorosos, além da diminuição da produção de citocinas pró-inflamatórias envolvidas na sensibilização periférica. Associam-se ainda a melhora da microcirculação local e a redução da sensibilização central, contribuindo para o controle da dor e da inflamação. Revisões recentes demonstram redução significativa da intensidade da dor em diferentes condições clínicas, com melhora da função e da qualidade de vida dos pacientes, reforçando a PBM como uma estratégia não farmacológica eficaz para o manejo da dor pós-operatória, das disfunções temporomandibulares e de outras afecções inflamatórias da cavidade oral (Ferreira *et al.*, 2026).

3 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura, de abordagem qualitativa e objetivo descritivo, desenvolvida com a finalidade de reunir, analisar e sintetizar as evidências científicas disponíveis acerca dos efeitos celulares da fotobiomodulação nos tratamentos odontológicos. A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados digitais Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e PubMed, limitando-se a artigos científicos publicados nos idiomas português e inglês, no período compreendido entre 2020 e 2026. Para a condução da busca, utilizou-se a combinação dos descritores indexados nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), a saber: “Fotobiomodulação” AND “Odontologia” AND “Reparo Tecidual”; “Laserterapia de Baixa Intensidade” AND “Cicatrização” AND “Inflamação”; e “Photobiomodulation” AND “Dentistry” AND “Cell Proliferation”.

O procedimento de seleção e refinamento dos estudos seguiu um fluxo estruturado em quatro etapas consecutivas. Na primeira etapa, correspondente à

busca inicial por meio das combinações de descritores, foram identificados um total de 124 artigos potencialmente elegíveis nas três bases de dados. Na segunda etapa, aplicou-se o primeiro filtro de refinamento baseado na leitura sistemática dos títulos e resumos, além da exclusão automática de 28 registros duplicados. Após essa triagem preliminar, 46 artigos foram pré-selecionados por estarem diretamente alinhados à temática dos mecanismos celulares da laserterapia aplicados à prática clínica odontológica, enquanto os demais foram excluídos por abordarem o uso da fotobiomodulação em outras áreas da saúde humana ou veterinária.

Na terceira etapa, os 46 artigos pré-selecionados foram submetidos à leitura na íntegra para verificação dos critérios de inclusão e exclusão. Foram incluídos estudos que detalhavam os aspectos moleculares e bioquímicos (como a modulação de ATP, óxido nítrico e espécies reativas de oxigênio), estudos clínicos ou laboratoriais com foco em especialidades odontológicas e publicações disponíveis na íntegra de forma gratuita. Foram excluídos resumos de eventos, revisões integrativas sem rigor metodológico claro, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses. Após essa filtragem minuciosa por critérios de elegibilidade, restaram 16 artigos científicos que compuseram a amostra final definitiva deste estudo.

A quarta e última etapa consistiu na análise qualitativa dos dados, realizada por meio de uma abordagem descritiva e crítica. As informações relevantes de cada um dos 16 artigos selecionados foram extraídas e organizadas em categorias temáticas para comparação de resultados, englobando: o mecanismo fotoquímico primário, a sinalização celular secundária, os efeitos biológicos decorrentes e as principais aplicações clínicas relatadas na Odontologia.

Por se tratar de uma pesquisa baseada exclusivamente em dados secundários de livre acesso na literatura científica, que não envolveu diretamente seres humanos ou animais, o presente estudo dispensou a submissão e avaliação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP/CEUA), resguardando, contudo, o rigor ético na citação e fidedignidade de todas as fontes consultadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos estudos selecionados evidenciou que a fotobiomodulação promove seus efeitos biológicos por meio da interação da luz de baixa intensidade com cromóforos intracelulares, principalmente a citocromo *c* oxidase. A absorção dos fótons desencadeia aumento da produção de ATP, modulação das espécies reativas de oxigênio e liberação de óxido nítrico, iniciando uma cascata de sinalização celular que culmina na ativação de fatores de transcrição envolvidos na proliferação, diferenciação e sobrevivência celular. Esses mecanismos constituem a base biológica que justifica a ampla aplicação da fotobiomodulação em diferentes especialidades odontológicas (Mitrofanis *et al.*, 2022; Kashiwagi *et al.*, 2023; Frankowski *et al.*, 2025).

Outro aspecto recorrente na literatura refere-se à influência dos parâmetros de irradiação sobre a resposta biológica. As evidências demonstram que a eficácia terapêutica depende da adequada seleção do comprimento de onda, potência, densidade de energia, tempo de exposição e frequência das aplicações. Observa-se a existência de uma janela terapêutica de dose-resposta, na qual doses insuficientes não promovem estimulação celular significativa, enquanto doses excessivas podem reduzir ou até inibir os efeitos desejados. Nesse contexto, a padronização dos protocolos permanece como um dos principais desafios para a aplicação clínica da fotobiomodulação baseada em evidências (Cronshaw *et al.*, 2020; Olkoski *et al.*, 2021; Valter *et al.*, 2024).

Quanto aos efeitos celulares, verificou-se que a fotobiomodulação estimula a proliferação, migração e diferenciação de fibroblastos, osteoblastos e células-tronco, favorecendo a síntese de colágeno, a deposição de matriz extracelular e a regeneração dos tecidos moles e ósseos. Adicionalmente, exerce ação imunomoduladora ao reduzir a produção de citocinas pró-inflamatórias e estimular mediadores anti-inflamatórios, criando um ambiente biológico mais favorável à cicatrização e ao reparo tecidual (Da Silva *et al.*, 2023; Dipalma *et al.*, 2023; Al Balah; Rafie; Osama, 2025).

Também foram descritos efeitos positivos sobre a angiogênese e o controle da dor. O aumento da expressão de fatores angiogênicos, como VEGF e HIF-1 α , favorece a formação de novos vasos sanguíneos, ampliando o aporte de oxigênio e

nutrientes aos tecidos em reparação. Paralelamente, a modulação da excitabilidade das fibras nervosas e da resposta inflamatória contribui para a redução da dor e do edema, justificando sua utilização como terapia adjuvante no pós-operatório de procedimentos odontológicos, nas disfunções temporomandibulares, na mucosite oral, na hipersensibilidade dentinária e em outras condições clínicas que demandam controle da inflamação e aceleração da cicatrização (Zhong *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2026).

De maneira geral, a literatura apresenta consenso quanto aos benefícios da fotobiomodulação como terapia adjuvante na Odontologia. Entretanto, persiste considerável heterogeneidade entre os estudos quanto aos parâmetros de aplicação, dificultando a comparação dos resultados e a elaboração de protocolos clínicos universais. Assim, embora as evidências disponíveis apontam resultados promissores e consistentes, ainda são necessários ensaios clínicos controlados e metodologicamente padronizados para estabelecer protocolos capazes de proporcionar maior previsibilidade, reprodutibilidade e segurança na prática clínica (Cronshaw *et al.*, 2020; Le *et al.*, 2023; Bernardes; Cunha; Vilela Júnior, 2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão bibliográfica evidenciou que a fotobiomodulação constitui uma importante ferramenta terapêutica na Odontologia, cujos benefícios clínicos estão diretamente relacionados aos mecanismos celulares desencadeados pela interação da luz de baixa intensidade com os tecidos biológicos. A análise da literatura demonstrou que essa terapia promove aumento da atividade mitocondrial e da síntese de ATP, modula a produção de espécies reativas de oxigênio e de óxido nítrico, regula a expressão gênica, estimula a proliferação, migração e diferenciação celular, favorece a angiogênese e a síntese de colágeno e exerce expressivos efeitos anti-inflamatórios, analgésicos e bioestimuladores, contribuindo significativamente para o reparo e a regeneração tecidual.

Os estudos analisados demonstraram, ainda, que esses mecanismos celulares se traduzem em benefícios clínicos observados em diferentes especialidades

odontológicas, incluindo cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial, implantodontia, periodontia, endodontia, ortodontia e estomatologia. Nesse contexto, a fotobiomodulação destaca-se como uma terapia adjuvante capaz de acelerar a cicatrização, reduzir a resposta inflamatória, minimizar o edema e controlar a dor pós-operatória, proporcionando maior conforto ao paciente e favorecendo melhores desfechos clínicos.

Entretanto, verificou-se que a efetividade da fotobiomodulação depende diretamente da adequada seleção dos parâmetros de aplicação, como comprimento de onda, potência, densidade de energia, tempo de irradiação e número de sessões. A heterogeneidade metodológica observada entre os estudos evidencia a necessidade de padronização dos protocolos clínicos, uma vez que diferenças na dosimetria podem influenciar significativamente a resposta biológica e dificultar a comparação entre os resultados disponíveis na literatura.

Conclui-se, portanto, que a fotobiomodulação apresenta sólido embasamento científico e representa uma alternativa terapêutica segura, minimamente invasiva e de elevada relevância para a prática odontológica contemporânea. Seus mecanismos de ação justificam sua ampla aplicabilidade clínica e reforçam seu potencial para promover tratamentos mais previsíveis, eficientes e biologicamente favoráveis. Contudo, ainda são necessários estudos clínicos randomizados, conduzidos com metodologias padronizadas e acompanhamento em longo prazo, a fim de estabelecer protocolos universais baseados em evidências, ampliando a previsibilidade, a reprodutibilidade e a segurança dessa terapia nas diferentes áreas da Odontologia.

REFERÊNCIAS

AL BALAH, Osama Fekry; RAFIE, Maha; OSAMA, Abdel-Rahman. Immunomodulatory effects of photobiomodulation: a comprehensive review. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 187, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-025-04417-8>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11991943/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

BAKSHI, P. V.; SETTY, S. B.; KULKARNI, M. R. Photobiomodulation of human gingival fibroblasts with diode laser: a systematic review. **Journal of Indian Society of**

Periodontology, v. 26, n. 1, p. 5–12, 2022. DOI: 10.4103/jisp.jisp_90_21. Acesso em: 03 jul. 2026.

CRONSHAW, M.; PARKER, S.; ANAGNOSTAKI, E.; MYLONA, V.; LYNCH, E.; GROOTVELD, M. Photobiomodulation dose parameters in dentistry: a systematic review and meta-analysis. **Dentistry Journal, Basel**, v. 8, n. 4, p. 114, 2020. DOI: 10.3390/dj8040114. Acesso em: 03 jul. 2026.

DA SILVA, Thayssa Gomes; RIBEIRO, Rickson Souza; MENCALHA, Andre Luiz; FONSECA, Adenilson de Souza. Photobiomodulation at molecular, cellular, and systemic levels. **Lasers in Medical Science**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 136, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-023-03801-6>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37310556/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

DIPALMA, Gianna; INCHINGOLO, Angelo Michele; PATANO, Assunta; PALUMBO, Irene; GUGLIELMO, Mariafrancesca; TRILLI, Irma; NETTI, Anna; FERRARA, Irene; VIAPIANO, Fabio; INCHINGOLO, Alessio Danilo et al. Fotobiomodulação e fatores de crescimento em odontologia: uma revisão sistemática. **Photonics**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 1095, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/photonics10101095>. Acesso em: 4 jul. 2026.

DOS SANTOS, Julia Bernardino; INVENÇÃO, Andréa dos Santos Silva. Os benefícios da laserterapia de baixa frequência no manejo da dor. Santos: **UNILUS**, v. 3, n. 1, 2024. Disponível em: <http://revista.lusiada.br/index.php/rtcc/article/download/1915/1458>. Acesso em: 4 jul. 2026.

CRONSHAW, M.; PARKER, S.; ANAGNOSTAKI, E.; MYLONA, V.; LYNCH, E.; GROOTVELD, M. Photobiomodulation dose parameters in dentistry: a systematic review and meta-analysis. **Dentistry Journal, Basel**, v. 8, n. 4, p. 114, 2020. DOI: 10.3390/dj8040114. Acesso em: 03 jul. 2026.

FERREIRA, Luciano Maia Alves; OLIVEIRA, Ana Beatriz Cabral; MENDES, Jose João Baltazar; COSTA, Gabrielle Vitoria; SILVA, Izadora Reis; SANTOS, GabriellyNogueira; PEREIRA, Gabrielly Santos; SILVA, Marcelo Lourenço. Photobiomodulation in chronic pain: a systematic review of randomized clinical trials. **Frontiers in Integrative Neuroscience**, [s. l.], v. 20, p. 1717372, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnint.2026.1717372>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12909510/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

FRANKOWSKI, David W.; FERRUCCI, Luigi; ARANY, Praveen R.; BOWERS, Dawn; EELLS, Janis T.; GONZALEZ-LIMA, Francisco; LOHR, Nicole L.; QUIRK, Brendan J.; WHELAN, Harry T.; LAKATTA, Edward G. Light buckets and laser beams: mechanisms and applications of photobiomodulation (PBM) therapy. **GeroScience**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 2777-2789, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11357-025-01505-z>.

Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12181550/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

GLASS, Graeme E. Photobiomodulation: a review of the molecular evidence for low level light therapy. **Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery**, v. 74, n. 5, p. 1050–1060, 2021. DOI: 10.1016/j.bjps.2020.12.059. Acesso em: 03 jul. 2026.

KASHIWAGI, Seiichi et al. Photobiomodulation and nitric oxide signaling. **NitricOxide**, v. 130, p. 58-68, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9808891/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

LE, J. M.; WU, J. H.; JAW, F. S.; SU, C. T. **The effect of bone remodeling with photobiomodulation in dentistry: a review study**. *Lasers in Medical Science*, v. 38, n. 1, art. 265, 2023. DOI: 10.1007/s10103-023-03933-9. Acesso em: 03 jul. 2026.

MESTER, Andrew; MESTER, Adam. The history of photobiomodulation: Endre Mester (1903–1984). **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 35, n. 8, p. 393–394, 2017. DOI:10.1089/pho.2017.4332. Acesso em: 03 jul. 2026.

MITROFANIS, John *et al.* Photobiomodulation of cytochrome c oxidase by chronic transcranial laser in young and aged brains. **Frontiers in Neuroscience**, v. 16, 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8971717/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

OLKOSKI, Louise Eduarda *et al.* Laserterapia de baixa intensidade e seus efeitos sobre a dor, edema, trismo e parestesia: uma revisão integrativa da literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e9210212159-e9210212159, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12159>. Acesso em: 02 jul. 2026.

VALTER, Krisztina; TEDFORD, Stephanie E.; EELLS, Janis T.; TEDFORD, Clark E. Photobiomodulation use in ophthalmology – an overview of translational research from bench to bedside. **Frontiers in Ophthalmology**, [s. l.], v. 4, p. 1388602, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fopht.2024.1388602>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11358123/>. Acesso em: 4 jul. 2026.

ZHONG, Jietong; ZHANG, Xinyu; RUAN, Yaru; HUANG, Yue. Photobiomodulationtherapy's impact on angiogenesis and osteogenesis in orthodontic tooth movement: in vitro and in vivo study. **BMC Oral Health**, [s. l.], v. 24, p. 147, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03824-z>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10832110/>. Acesso em: 4 jul. 2026.