



ISSN 2674-8169



Latindex



DOI



Dualidade terapêutica da luz na odontologia: efeitos da fotobiomodulação e da terapia fotodinâmica na regeneração tecidual e no controle tumoral.

Arthur Raphael Lopes Garcia¹, Augusto Cesar Lopes Garcia¹, Vitor Otávio Souza Cruz¹, Amanda Fernandes Moreira Alves¹, Luana Dias¹, Jamile Marques Duria¹, Giovanna Manuela Cabral¹



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n5p635-652>

Artigo recebido em 8 Abril e publicado em 8 de Maio de 2026

Revisão Integrativa da Literatura

RESUMO

A laserterapia de baixa potência (LLLT) tem sido amplamente investigada na Odontologia devido aos seus efeitos analgésicos, anti-inflamatórios, cicatrizantes e biomoduladores. Evidências demonstram que sua aplicação favorece a regeneração óssea, estimulando a proliferação celular, angiogênese e diferenciação osteoblástica, contribuindo para a osseointegração e maior previsibilidade clínica em procedimentos reabilitadores. Paralelamente, a fotobiomodulação (PBM) e a terapia fotodinâmica (PDT) destacam-se no contexto oncológico, evidenciando a dualidade terapêutica da luz, com efeitos tanto regenerativos quanto antitumorais. Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, com busca realizada nas bases PubMed, Medline, Scopus, Google Scholar, SciELO e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), incluindo estudos publicados entre 2010 e 2026. Após aplicação dos critérios de elegibilidade, 55 estudos foram selecionados para análise. Os resultados evidenciam que a LLLT promove redução da dor, modulação inflamatória, aceleração da cicatrização e estímulo à neoformação óssea. No contexto oncológico, a PBM demonstrou eficácia na prevenção e no manejo da mucosite oral, enquanto a PDT apresentou potencial antitumoral e antimicrobiano. No entanto, observou-se significativa heterogeneidade nos protocolos de aplicação, além de limitações metodológicas nos estudos clínicos, o que compromete a padronização e reprodutibilidade dos resultados. Conclui-se que as terapias baseadas em luz representam recursos adjuvantes promissores na odontologia e oncologia, reforçando seu papel na melhoria da qualidade de vida dos pacientes e na previsibilidade dos tratamentos. Contudo, sua consolidação clínica depende da padronização de protocolos e da produção de evidências de alta qualidade, especialmente por meio de ensaios clínicos randomizados e multicêntricos.



Palavras-chave: Terapia de Laser de Baixa Intensidade; Regeneração Óssea; Osseointegração; Reabilitação Oral; Neoplasia Oral; Câncer Bucal;

Therapeutic Duality of Light in Dentistry: Effects of Photobiomodulation and Photodynamic Therapy on Tissue Regeneration and Tumor Control.

Abstract

Low-level laser therapy (LLLT) has been extensively investigated in dentistry due to its analgesic, anti-inflammatory, wound-healing, and biomodulatory properties. Current evidence indicates that its application enhances bone regeneration by stimulating cell proliferation, angiogenesis, and osteoblastic differentiation, thereby contributing to improved osseointegration and greater clinical predictability in rehabilitative procedures. In parallel, photobiomodulation (PBM) and photodynamic therapy (PDT) have gained increasing relevance in the oncological setting, highlighting the therapeutic duality of light, with both regenerative and antitumor effects. This study consists of an integrative literature review, with searches conducted across PubMed, Medline, Scopus, Google Scholar, SciELO, and the Virtual Health Library (BVS), including studies published between 2010 and 2026. After applying eligibility criteria, a total of 55 studies were selected for analysis. The findings demonstrate that LLLT promotes pain reduction, modulation of the inflammatory response, acceleration of tissue healing, and stimulation of new bone formation. In the oncological context, PBM has shown effectiveness in the prevention and management of oral mucositis, while PDT exhibits antitumor and antimicrobial potential. However, considerable heterogeneity in treatment protocols and methodological limitations in clinical studies were observed, which hinder standardization and reproducibility of outcomes. In conclusion, light-based therapies represent promising adjunctive approaches in both dentistry and oncology, contributing to improved patient quality of life and greater treatment predictability. Nevertheless, their consolidation in clinical practice depends on the establishment of standardized protocols and the generation of high-quality evidence, particularly through well-designed randomized multicenter clinical trials.

Keywords: Low-Level Laser Therapy; Bone Regeneration; Osseointegration; Oral Rehabilitation; Oral Neoplasia; Oral Cancer;



Dualidade terapêutica da luz na odontologia: efeitos da fotobiomodulação e da terapia fotodinâmica na regeneração tecidual e no controle tumoral.

Garcia et. al.

Instituição afiliada – ¹ Discente – Centro Universitário de Adamantina (FAI), Adamantina, SP, Brasil.

Autor correspondente: *Arthur Raphael Lopes Garcia* email: arthurrlgarcia@gmail.com

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



INTRODUÇÃO

A odontologia desfruta de momento pujante, dispendo e desenvolvendo novas possibilidades na área de reabilitação protética, sendo a principal força motriz dessas transformações advindas do fenômeno da osseointegração. Conceituada por Branemark como a conexão direta entre osso e implante sob função, a osseointegração atingiu elevados níveis de previsibilidade, permitindo a utilização cada vez mais ampla e segura dos implantes como base para a construção de elementos protéticos destinados à reabilitação bucal (ELIAS, C. N. 2011).

A laserterapia de baixa potência (LLLT) configura-se como uma estratégia terapêutica amplamente investigada na Odontologia, destacando-se por seus efeitos analgésicos, anti-inflamatórios, cicatrizantes e biomoduladores. Nas últimas décadas, seu uso clínico expandiu-se para diferentes especialidades odontológicas, especialmente em procedimentos cirúrgicos e reabilitadores. Pesquisas recentes indicam que a LLLT exerce influência positiva sobre a reparação óssea, favorecendo a neoformação tecidual, a angiogênese e a diferenciação celular, fatores essenciais para a osseointegração (ELKHODARY; ALAMOUDI; EL KHODARY, 2019; GARCEZ, 2020).

Apesar dos avanços, ainda há controvérsias quanto aos protocolos de aplicação, parâmetros energéticos e padronização clínica, o que gera disparidade nos resultados relatados. Ademais, observa-se significativa variabilidade metodológica entre os estudos, dificultando a comparação dos achados e a consolidação de diretrizes clínicas bem estabelecidas. A literatura também aponta que a eficácia terapêutica depende não apenas da tecnologia empregada, mas da correta indicação, do treinamento do cirurgião-dentista e da integração com outras abordagens terapêuticas (HENRIQUES; CAZAL; CASTRO, 2010; GOMES; SCHAPOCHNIK, 2017).

Diante da crescente importância do tema, torna-se essencial reunir evidências atualizadas que permitam compreender o real impacto da LLLT na osseointegração e no manejo de complicações cirúrgicas. Nesse contexto, a consolidação do conhecimento

científico é fundamental para orientar a prática clínica baseada em evidências e reduzir a heterogeneidade dos protocolos terapêuticos.

Além das aplicações na reabilitação oral, a fotobiomodulação tem se destacado também no contexto oncológico, ampliando seu campo de aplicação dentro da Odontologia contemporânea. As neoplasias malignas constituem um conjunto de alterações teciduais de etiologia multifatorial, caracterizadas por proliferação celular descontrolada, evasão de mecanismos regulatórios e capacidade de invasão e disseminação metastática, aspectos amplamente descritos nos chamados “hallmarks of cancer” (HANAHAN, 2022; FURTADO et al., 2022; KUMAR et al., 2021).

O câncer bucal permanece, apesar dos avanços, como um problema de Saúde Pública mundial, sendo que, para que o prognóstico seja favorável, a lesão deve ser identificada em estágio inicial, levando em consideração suas características clínicas (DELVECCHIO et al., 2022). De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA., 2024), estima-se aproximadamente 15.100 novos casos de câncer da cavidade oral por ano no Brasil, com base nas projeções mais recentes (triênio 2023–2025 / atualização 2024).

No contexto do tratamento oncológico, complicações orais, como mucosite, xerostomia e osteorradionecrose, exercem impacto significativo sobre a qualidade de vida dos pacientes, sendo, muitas vezes, subestimadas na prática clínica (NEVES et al., 2021; MARIA; ELIOPOULOS; MUANZA, 2017). Diversas alterações bucais manifestam-se durante e após o tratamento oncológico, como xerostomia, disgeusia, cárie relacionada à radiação, osteorradionecrose, mucosite, sangramento e recessões nos tecidos periodontais (NEVES et al., 2021). Recentemente, a Associação Multinacional de Apoio e Cuidados ao Câncer e a Sociedade Internacional de Oncologia Oral (MASCC/ISOO), após revisão sistemática da literatura, sugeriram que a patogênese da mucosite oral (MO) está fortemente associada à sinalização inflamatória (BOWEN et al., 2019).

Nesse cenário, a fotobiomodulação tem sido amplamente investigada como uma estratégia terapêutica adjuvante promissora, com evidências consistentes demonstrando sua eficácia na redução da severidade da mucosite oral, bem como na melhora da qualidade de vida dos pacientes submetidos ao tratamento oncológico (BENSADOUN, 2018; REOLON et al., 2017; NETO; WESTPHALEN, 2013). Nesse sentido, a



fotobiomodulação a laser tem sido empregada na prevenção e no tratamento de lesões decorrentes da quimioterapia e radioterapia, promovendo efeitos biológicos que incluem aumento do metabolismo celular, ação analgésica e anti-inflamatória, além de favorecer a produção de colágeno e elastina, a contração da ferida e a reparação tecidual (BENSADOUN, 2018).

Dessa forma, evidencia-se que a laserterapia de baixa potência não apenas apresenta relevância na osseointegração e na reparação óssea, mas também desempenha papel importante no manejo de complicações decorrentes do tratamento oncológico, ampliando seu campo de aplicação e reforçando sua importância como recurso terapêutico complementar na prática odontológica contemporânea.

Assim, o objetivo deste estudo é revisar criticamente a literatura sobre os efeitos do laser de baixa potência no tecido ósseo, discutindo sua aplicabilidade clínica, benefícios terapêuticos e limitações, a fim de embasar condutas odontológicas fundamentadas em evidências científicas, ao mesmo tempo em que se insere a discussão no contexto mais amplo das aplicações da fotobiomodulação em condições sistêmicas e oncológica

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, conduzida conforme a metodologia proposta por Whitemore e Knafl, contemplando as etapas de identificação do problema, busca, avaliação, análise e síntese dos dados. A análise também considerou aspectos histológicos e biológicos do tecido ósseo e epitelial, fundamentais para a compreensão dos mecanismos de reparo e regeneração tecidual (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2008). A seleção dos estudos seguiu as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, conforme recomendações metodológicas para revisões integrativas, garantindo rigor na condução do processo de análise.

A busca foi realizada nas bases de dados PubMed, Medline, Scopus, Google Scholar, SciELO e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), utilizando os descritores controlados “Low Level Laser Therapy”, “Bone Regeneration”, “Osseointegration” e

“Oral Rehabilitation”, combinados por operadores booleanos. Para contemplar o contexto oncológico, também foram empregados os descritores “Oral Neoplasia”, “Oral Cancer”, “Low-Level Laser Therapy” e “Oral Mucositis”.

Foram incluídos artigos originais, revisões de literatura, revisões sistemáticas, ensaios clínicos e relatos de caso, publicados entre 2010 e 2026, disponíveis na íntegra nos idiomas inglês, português ou espanhol, que abordassem os efeitos da LLLT sobre o tecido ósseo, sua aplicação clínica na odontologia, bem como o uso da fotobiomodulação (PBM) e/ou terapia fotodinâmica (PDT) no contexto oncológico. Foram excluídos relatos de casos isolados sem relevância clínica, estudos experimentais sem aplicabilidade clínica, artigos duplicados e textos indisponíveis na íntegra.

Na etapa inicial, foram identificados 115 estudos. Após a leitura de títulos e resumos, 65 artigos atenderam aos critérios de elegibilidade. Posteriormente, a leitura na íntegra possibilitou a seleção final de 55 publicações com evidências consistentes acerca da relação entre laser de baixa potência, osseointegração e inserção em práticas terapêuticas oncológicas.

Os estudos selecionados foram analisados quanto aos parâmetros de aplicação (potência, comprimento de onda, tempo de exposição e número de sessões), ao tipo de tecido avaliado, ao delineamento metodológico (in vitro, estudos em animais e clínicos) e às principais aplicações terapêuticas, incluindo reparação óssea, prevenção e manejo da mucosite oral e uso da PDT em neoplasias bucais. Os dados foram analisados de forma descritiva e comparativa, considerando nível de evidência e delineamento metodológico.

Por fim, os achados foram organizados em dois eixos temáticos: (1) o uso da fotobiomodulação na prevenção e no manejo das complicações orais decorrentes da quimioterapia e radioterapia; e (2) a aplicação da terapia fotodinâmica como estratégia antitumoral e antimicrobiana em neoplasias bucais. A análise foi conduzida de forma crítica e descritiva, considerando os benefícios observados, as limitações metodológicas, as convergências e divergências entre os estudos, bem como as lacunas e avanços recentes na literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Efeitos da LLLT na regeneração óssea

A análise dos 55 estudos selecionados revelou consenso quanto ao potencial biomodulador do laser de baixa potência (LLLT) sobre o tecido ósseo. Em modelos experimentais, a irradiação promoveu aumento da proliferação de osteoblastos, estímulo à diferenciação celular e maior deposição de matriz extracelular mineralizada (AMID et al., 2014; NADHREEN; ALAMOUDI; EL KHODARY, 2019). Em estudos clínicos, verificou-se aceleração do reparo ósseo peri-implantar e redução do tempo necessário para a osseointegração (GARCEZ, 2020). Nesse contexto, estudos adicionais demonstram que a aplicação da LLLT pode influenciar parâmetros biomecânicos da osseointegração, incluindo estabilidade primária e secundária dos implantes, conforme evidenciado em análises por frequência de ressonância (JESUS, 2017). Além disso, revisões clássicas já indicavam o potencial da terapia laser como recurso auxiliar na regeneração tecidual, embora com limitações metodológicas importantes (XAVIER et al., 2008).

Os efeitos terapêuticos mais descritos foram: (1) analgesia pós-operatória; (2) redução da resposta inflamatória; (3) aceleração da cicatrização inicial; (4) estímulo à neoformação óssea. Esses benefícios resultam da modulação celular dependente do comprimento de onda, da densidade de energia e do tempo de aplicação (CONVISSAR, 2011).

2. Limitações metodológicas e padronização

Contudo, uma análise crítica mais aprofundada evidencia que, embora os efeitos biológicos sejam consistentes em nível experimental, sua transposição para o contexto clínico ainda apresenta limitações metodológicas importantes. Estudos recentes apontam que muitos ensaios clínicos apresentam amostras reduzidas, ausência de

cegamento adequado e variabilidade nos desfechos avaliados, o que compromete a robustez das evidências (ROCHA et al., 2022; DE FREITAS et al., 2023). Além disso, revisões sistemáticas com metanálise sugerem que, apesar de tendências favoráveis à LLLT, os efeitos sobre a osseointegração nem sempre atingem significância estatística quando analisados sob critérios rigorosos (ESMAEELI et al., 2023).

A ausência de padronização dos parâmetros terapêuticos permanece como uma das principais limitações da literatura. Comprimentos de onda variando entre 600 e 900 nm, potências de 30 a 100 mW e tempos de exposição de 10 segundos a 3 minutos por ponto dificultam a padronização e a reprodutibilidade clínica. Revisões recentes destacam que essa variabilidade impede a definição de um “gold standard” terapêutico, além de comprometer a comparação entre estudos e a elaboração de diretrizes clínicas baseadas em evidência (MOSCA et al., 2019; DOMPE et al., 2020).

Outro ponto crítico refere-se à dependência do operador. A literatura demonstra que a eficácia da LLLT está diretamente relacionada à precisão na aplicação, incluindo angulação, distância e uniformidade da irradiação. A ausência de treinamento adequado pode não apenas reduzir os benefícios terapêuticos, mas também introduzir viés nos resultados clínicos (GOMES et al., 2013; GOMES; SCHAPOCHNIK, 2017). Nesse sentido, alguns autores defendem a incorporação de protocolos padronizados e treinamento baseado em evidências como pré-requisito para a utilização clínica segura (BENSADOUN; NACHTIGAL, 2018).

3. Mecanismos biológicos e janela terapêutica

Entretanto, do ponto de vista mecanístico, há controvérsias quanto à magnitude desses efeitos em tecidos humanos, uma vez que fatores como vascularização local, metabolismo sistêmico e condições inflamatórias pré-existentes podem modular a resposta ao laser (HAMBLIN, 2017; ARANY, 2018).

Adicionalmente, embora seja amplamente aceito que a LLLT estimula a atividade mitocondrial e a produção de ATP, estudos recentes sugerem que esse efeito segue uma curva bifásica dose-dependente (lei de Arndt-Schulz), na qual doses inadequadas podem resultar em ausência de efeito ou até inibição celular (CHUNG et al., 2012; HUANG et al.,

2021). Nesse sentido, esses achados reforçam a existência de uma “janela terapêutica” para a fotobiomodulação, na qual parâmetros subótimos ou excessivos podem comprometer os efeitos biológicos desejados. Tal conceito evidencia que a resposta tecidual à LLLT não é linear, mas dependente de uma faixa específica de energia capaz de promover estimulação celular sem induzir efeitos inibitórios. Esse aspecto reforça que a eficácia terapêutica não é linear e depende criticamente da precisão dos parâmetros utilizados.

4. Aplicações oncológicas (PBM)

No contexto oncológico, a fotobiomodulação tem demonstrado eficácia não apenas na prevenção da mucosite oral, mas também na redução do hipofluxo salivar induzido por radioterapia, contribuindo para a manutenção da homeostase bucal (GONNELLI et al., 2016). Ensaios clínicos e estudos longitudinais indicam que o uso preventivo da LLLT em pacientes submetidos à quimiorradioterapia pode impactar positivamente a sobrevida e a resposta terapêutica, embora tais achados ainda necessitem de validação em estudos multicêntricos (ANTUNES et al., 2017). Além disso, abordagens baseadas em fototerapia têm demonstrado efeitos imunomoduladores, incluindo alterações em citocinas inflamatórias e populações celulares do sistema imune, sugerindo um papel sistêmico ainda pouco explorado (SANTANA-BLANK et al., 1992; ZHEVAGO et al., 2012; NORDENSTROM, 1985).

5. Terapia fotodinâmica (PDT e aPDT)

A ampliação da discussão para o campo oncológico reforça tanto o potencial quanto as limitações das terapias baseadas em luz. A terapia fotodinâmica (PDT) e a terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) compartilham mecanismos fotoquímicos semelhantes à LLLT, mas apresentam objetivos terapêuticos distintos. A terapia fotodinâmica (PDT) tem se consolidado como alternativa promissora no tratamento de neoplasias bucais, especialmente em estágios iniciais, com resultados favoráveis em termos de controle tumoral e preservação funcional (CARDOSO et al., 2024; KAZEMI et al., 2024). Embora a PDT tenha demonstrado eficácia no controle de lesões iniciais de carcinoma espinocelular oral, sua aplicabilidade ainda é limitada por fatores como

profundidade de penetração da luz, heterogeneidade tumoral e dependência da oxigenação tecidual (AGOSTINIS et al., 2011; ALLISON; MOGHISSI, 2013).

Além disso, apesar dos resultados promissores na preservação funcional e qualidade de vida, revisões críticas destacam que muitos estudos em PDT apresentam desenho não randomizado ou ausência de grupos controle robustos, o que limita a generalização dos achados (DE VRIES et al., 2022). No manejo da mucosite oral, evidências recentes sugerem que a associação entre fotobiomodulação e terapia fotodinâmica antimicrobiana potencializa os efeitos terapêuticos, promovendo redução significativa da dor e da inflamação (JOSEPH et al., 2024; LESSA et al., 2023). No contexto da mucosite oral, evidências recentes indicam que a combinação de fotobiomodulação com aPDT pode ser mais eficaz do que terapias isoladas, sugerindo um possível efeito sinérgico ainda pouco explorado (ELTING et al., 2023; SONIS, 2020). A eficácia da aPDT também está relacionada à sua ação sobre biofilmes complexos, embora fatores como espessura e maturidade do biofilme possam influenciar os resultados (LI et al., 2023).

No que se refere aos fotossensibilizadores, compostos como clorina e6 têm se destacado pelo alto rendimento quântico e eficiência na geração de espécies reativas de oxigênio, sendo amplamente investigados em sistemas nanotecnológicos (HAK et al., 2023; NÍCOLAS-MORALA et al., 2024). No que se refere aos fotossensibilizadores, embora compostos como ALA, MAL, temoporfina e clorina e6 apresentem eficácia comprovada, há limitações relacionadas à fotossensibilidade cutânea prolongada e à variabilidade na captação tumoral (DOLMANS; FUKUMURA; JAIN, 2003). Na aPDT, apesar da eficácia contra biofilmes, a literatura aponta que a penetração em biofilmes maduros ainda é limitada, sendo frequentemente necessária a associação com métodos mecânicos de desorganização (CIEPLIK et al., 2018).

6. Perspectivas futuras e translacionalidade

Do ponto de vista translacional, a LLLT mostra-se promissora na implantodontia e periodontia regenerativa, porém sua incorporação rotineira ainda deve ser analisada com cautela. Estudos de custo-efetividade são escassos, e alguns autores questionam se

os benefícios clínicos observados justificam o investimento em equipamentos e treinamento, especialmente em contextos de saúde pública (PARK et al., 2022).

Estratégias inovadoras, como o uso de nanopartículas de upconversion, têm sido propostas para aumentar a penetração da luz em tecidos profundos e melhorar a eficácia da PDT, embora ainda em fase experimental (CUI et al., 2024). Avanços recentes envolvendo nanotecnologia, como partículas de upconversion e sistemas de liberação controlada de fotossensibilizadores, representam uma tentativa de superar essas limitações. No entanto, tais abordagens ainda se encontram majoritariamente em fase experimental, com escassez de ensaios clínicos que comprovem sua segurança e eficácia em longo prazo (LUCKY; SOON; ZHANG, 2015; CHEN et al., 2024).

De forma integrada, observa-se que as terapias baseadas em luz apresentam efeitos que vão além da regeneração local, envolvendo modulação sistêmica, controle inflamatório e interação com o microambiente tumoral, o que amplia significativamente seu potencial terapêutico (ALMEIDA et al., 2022). Dessa forma, ao integrar os achados sobre LLLT, PDT e aPDT, observa-se que, embora compartilhem mecanismos biológicos convergentes — como modulação celular, controle inflamatório e estímulo à regeneração tecidual —, a aplicação clínica dessas terapias ainda é marcada por lacunas significativas. A ausência de padronização, a heterogeneidade metodológica e a limitação de evidências clínicas de alta qualidade indicam que, apesar do grande potencial, essas abordagens devem ser incorporadas de maneira criteriosa.

Assim, torna-se evidente a necessidade de ensaios clínicos randomizados, multicêntricos e com protocolos padronizados, além de estudos translacionais que correlacionem parâmetros físicos com desfechos clínicos mensuráveis. Somente com esse avanço será possível consolidar o papel das terapias baseadas em luz como ferramentas seguras, eficazes e previsíveis na prática odontológica e oncológica contemporânea.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura revisada confirma que a fotobiomodulação (PBM) e a terapia fotodinâmica (PDT) representam abordagens inovadoras e promissoras tanto no manejo do câncer bucal quanto no contexto da regeneração tecidual em odontologia. A PBM se mostra eficaz na prevenção da mucosite oral, no controle da dor e na modulação inflamatória, enquanto a PDT desponta como alternativa terapêutica em lesões iniciais e recidivas tumorais, além de atuar como recurso antimicrobiano adjuvante. Paralelamente, a laserterapia de baixa potência (LLLT) apresenta efeitos positivos e complementares no processo de osseointegração, contribuindo para a redução da dor, modulação da inflamação, aceleração da cicatrização e estímulo à regeneração óssea.

Dessa forma, a aplicação terapêutica da luz, quando realizada de maneira criteriosa e baseada em evidências científicas, constitui importante suporte tanto ao tratamento oncológico quanto aos procedimentos reabilitadores em odontologia, promovendo melhora na qualidade de vida dos pacientes e maior previsibilidade clínica dos tratamentos.

Entretanto, apesar dos avanços e dos ganhos terapêuticos demonstrados na literatura, a ausência de protocolos padronizados e a heterogeneidade dos parâmetros utilizados ainda limitam sua aplicabilidade universal, estando sua eficácia clínica diretamente relacionada ao avanço das pesquisas, à condução de ensaios clínicos robustos e à capacitação profissional contínua.

Assim, conclui-se que a fotobiomodulação, a terapia fotodinâmica e a laserterapia de baixa potência configuram-se como recursos adjuvantes promissores na prática odontológica e oncológica. Apesar do elevado potencial terapêutico, a consolidação dessas tecnologias na prática clínica depende da padronização de protocolos e da produção de evidências de alta qualidade, especialmente por meio de ensaios clínicos randomizados multicêntricos. Entretanto, sua incorporação definitiva na prática clínica depende da translação do conhecimento experimental para protocolos clínicos padronizados e reprodutíveis.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINIS, Patrizia et al. Photodynamic therapy of cancer: an update. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, v. 61, n. 4, p. 250–281, 2011.
- ALLISON, Ron R.; MOGHISSI, Keyvan. Photodynamic therapy (PDT): PDT mechanisms. *Clinical Endoscopy*, v. 46, n. 1, p. 24–29, 2013.
- ALMEIDA, R. M.; SANTOS, F. L.; BARBOSA, A. C. Terapias fotodinâmicas em oncologia: avanços e perspectivas. *Journal of Oral Research and Review*, v. 8, n. 2, p. 45–53, 2022.
- AMID, R. et al. Effect of low-level laser therapy on proliferation and differentiation of the cells contributing in bone regeneration. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, v. 5, n. 4, p. 163–170, 2014.
- ANTUNES, H. S. et al. Long-term survival of a randomized phase III trial of head and neck cancer patients receiving concurrent chemoradiation therapy with or without low-level laser therapy (LLLT) to prevent oral mucositis. *Oral Oncology*, v. 71, p. 11–15, 2017.
- ARANY, Praveen R. Craniofacial wound healing with photobiomodulation therapy: new insights and current challenges. *Journal of Dental Research*, v. 97, n. 9, p. 977–984, 2018.
- BENSADOUN, R. J. Photobiomodulation or low-level laser therapy in the management of cancer therapy-induced mucositis, dermatitis and lymphedema. *Current Opinion in Oncology*, v. 30, n. 4, p. 226–232, 2018.
- BENSADOUN, René-Jean; NACHTIGAL, Danielle. Low-level laser therapy in supportive cancer care. *Supportive Care in Cancer*, v. 26, n. 1, p. 1–4, 2018.
- BOWEN, J. et al. Systematic review of agents for the management of cancer gastrointestinal mucositis and clinical practice guidelines. *Supportive Care in Cancer*, v. 27, p. 4011–4022, 2019.
- CARDOSO, M. et al. Effectiveness of photodynamic therapy on treatment response and survival in patients with recurrent oral squamous cell carcinoma: a systematic review. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 48, 2024.
- CHEN, Ying et al. Advances in nanotechnology-based photodynamic therapy. *Biomaterials*, v. 301, p. 122–135, 2024.
- CHUNG, Hoyoung et al. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Annals of Biomedical Engineering*, v. 40, n. 2, p. 516–533, 2012.
- CIEPLIK, Fabian et al. Antimicrobial photodynamic therapy – what we know and what we don't. *Critical Reviews in Microbiology*, v. 44, n. 5, p. 571–589, 2018.



CONVISSAR, Robert A. *Princípios e práticas do laser na odontologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

CUI, J. et al. Near-infrared light photodynamic therapy with upconversion nanoparticles and chlorin e6. *Journal of Functional Biomaterials*, v. 15, n. 11, 2024.

DE FREITAS, Lucas F. et al. Photobiomodulation in bone repair: clinical evidence and future perspectives. *Lasers in Medical Science*, v. 38, n. 2, p. 455–468, 2023.

DE VRIES, Maria et al. Photodynamic therapy in oral cancer: systematic review. *Oral Oncology*, v. 130, p. 105–112, 2022.

DELVECCHIO, G. B. et al. Comparação de casos diagnosticados com o grau de conhecimento dos estudantes de odontologia. *Archives of Health Investigation*, v. 11, n. 3, p. 485–491, 2022.

DOLMANS, Dennis E. J. G. J.; FUKUMURA, Dai; JAIN, Rakesh K. Photodynamic therapy for cancer. *Nature Reviews Cancer*, v. 3, n. 5, p. 380–387, 2003.

DOMPE, Cristina et al. Photobiomodulation—underlying mechanism and clinical applications. *Journal of Clinical Medicine*, v. 9, n. 6, p. 1724, 2020.

ELIAS, C. N. Factors affecting the success of dental implants. In: *Implant Dentistry – a rapidly evolving practice*. 2011.

ELTING, Linda S. et al. Advances in mucositis management in cancer patients. *Cancer*, v. 129, n. 3, p. 345–356, 2023.

ESMAEELI, Fatemeh et al. Effect of low-level laser therapy on osseointegration. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, v. 25, n. 1, p. 45–58, 2023.

FURTADO, M. M. et al. Estudo epidemiológico do câncer infantojuvenil. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 5, n. 1, p. 627–639, 2022.

GARCEZ, A. S. *Aplicação clínica do laser na odontologia*. Barueri: Manole, 2020.

GOMES, C.; SCHAPOCHNIK, A. O uso terapêutico do laser de baixa intensidade. *Distúrbios da Comunicação*, v. 29, n. 3, p. 570–578, 2017.

GOMES, M. N. C. et al. O ensino da terapia a laser de baixa intensidade em odontologia no Brasil. *RFO UPF*, v. 18, n. 1, p. 32–36, 2013.

GONNELLI, F. A. S. et al. Laser de baixa potência para prevenção de hipofluxo salivar. *Radiologia Brasileira*, v. 49, n. 2, p. 86–91, 2016.

HAK, A. et al. Chlorin e6 in photo-based cancer nanomedicine. *ACS Applied Bio Materials*, v. 6, n. 2, p. 349–364, 2023.

HAMBLIN, Michael R. Mechanisms and applications of photobiomodulation. *AIMS Biophysics*, v. 4, n. 3, p. 337–361, 2017.



HANAHAN, Douglas. Hallmarks of cancer: new dimensions. *Cancer Discovery*, v. 12, n. 1, p. 31–46, 2022.

HENRIQUES, A. C. G.; CAZAL, C.; CASTRO, J. F. L. Ação da laserterapia de baixa intensidade. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, v. 37, n. 4, p. 295–302, 2010.

HUANG, Ying-Ying et al. Biphasic dose response in low-level light therapy. *Dose-Response*, v. 19, n. 1, p. 1–10, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). *Estimativa 2023–2025: incidência de câncer no Brasil*. Rio de Janeiro: INCA, 2024.

JESUS, L. K. Avaliação dos efeitos do laser de baixa intensidade na osseointegração. 2017. Monografia.

JOSEPH, B. et al. Photodynamic therapy for oral mucositis. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 50, 2024.

JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchoa; CARNEIRO, José. *Histologia básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KAZEMI, K. S. et al. Photodynamic therapy in head and neck cancer. *Biological Procedures Online*, v. 26, 2024.

LESSA, A. F. N. et al. Antimicrobial photodynamic therapy. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 42, 2023.

LI, Y. et al. Antimicrobial photodynamic therapy against oral biofilm. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 2023.

LUCKY, S. S.; SOON, T. T.; ZHANG, Y. Nanoparticles in photodynamic therapy. *Chemical Reviews*, v. 115, n. 4, p. 1990–2042, 2015.

MARIA, O. M.; ELIOPOULOS, N.; MUANZA, T. Radiation-induced oral mucositis. *Frontiers in Oncology*, v. 7, p. 89, 2017.

MOSCA, Rafael C. et al. Laser therapy parameters. *Photomedicine and Laser Surgery*, v. 37, n. 6, p. 331–340, 2019.

NADHREEN, A. A.; ALAMOUDI, N. M.; ELKHODARY, H. M. Low-level laser therapy in dentistry. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, v. 22, n. 10, p. 1313–1318, 2019.

NETO, A. E. M.; WESTPHALEN, F. H. Efetividade do laser na mucosite. *RFO UPF*, v. 18, n. 2, p. 246–253, 2013.

NEVES, L. J. et al. Avaliação do efeito do laser preventivo. *Revista Brasileira de Cancerologia*, v. 67, 2021.

NÍCOLAS-MORALA, J. et al. Comparative response to PDT. *Scientific Reports*, v. 14, 2024.



NORDENSTROM, B. E. Biokinetic impacts on lung structure. *American Journal of Roentgenology*, v. 145, p. 447–467, 1985.

PARK, Jae-Hong et al. Cost-effectiveness of photobiomodulation therapy. *Healthcare*, v. 10, n. 4, p. 678, 2022.

REOLON, L. Z. et al. Impacto da laserterapia na qualidade de vida. *Revista de Odontologia da UNESP*, v. 46, n. 1, p. 19–27, 2017.

ROCHA, Eduardo S. et al. Clinical outcomes of low-level laser therapy. *Journal of Oral Implantology*, v. 48, n. 5, p. 412–420, 2022.

SANTANA-BLANK, L. A. et al. Evaluation of TNF-alpha during laser therapy. *Clinical and Experimental Immunology*, v. 90, p. 43–48, 1992.

SONIS, Stephen T. Oral mucositis in cancer therapy. *Journal of Clinical Oncology*, v. 38, n. 15, p. 1601–1609, 2020.

XAVIER, K. C. R. et al. Os efeitos do laser de baixa potência. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 2008.

ZHEVAGO, N. A. et al. Efficacy of infrared radiation in cancer patients. *Voprosy Kurortologii*, n. 4, p. 23–32, 2012.