

EFEITOS DA FOTOBIMODULAÇÃO NA CICATRIZAÇÃO DE FERIDAS PÓS-EXTRAÇÃO DENTÁRIA

Enilson de Souza Gomes¹

Geisa Conceição de Oliveira¹

Paula Luz Oliveira¹

Prof. Hudson Geraldo Raña da Matta Fonseca²

RESUMO

Este estudo aborda os mecanismos de ação do laser na cicatrização de feridas dentárias e seus benefícios no campo da odontologia. A terapia a laser, especialmente os lasers de baixa potência (LLLT), tem sido amplamente utilizada devido à sua capacidade de acelerar o processo de cicatrização e proporcionar efeitos anti-inflamatórios e analgésicos. O laser atua diretamente nas células, estimulando a proliferação celular, a produção de colágeno e a angiogênese, fundamentais para a regeneração tecidual e óssea. Além disso, os lasers auxiliam no controle da inflamação, modulando a liberação de mediadores pró-inflamatórios e reduzindo o edema. Também têm um impacto direto na redução da dor, bloqueando a transmissão dos sinais nervosos e promovendo a liberação de endorfinas. Esses efeitos contribuem para uma recuperação mais rápida e confortável em procedimentos odontológicos. Embora os avanços na tecnologia laser sejam promissores, o trabalho reconhece a necessidade de mais pesquisas clínicas, especialmente estudos randomizados, para confirmar a eficácia e a segurança do uso da laserterapia em diferentes contextos odontológicos. No geral, a terapia a laser representa uma abordagem inovadora e eficaz, que transforma a prática odontológica moderna ao oferecer tratamentos menos invasivos e com melhor prognóstico para os pacientes. O estudo tem como objetivo geral investigar os efeitos e os mecanismos de ação da terapia a laser na cicatrização de feridas dentárias. Entre os objetivos específicos estão: analisar os efeitos do laser na proliferação celular e na produção de colágeno; avaliar os benefícios no controle da inflamação e na redução da dor; e identificar os mecanismos pelos quais o laser promove a regeneração tecidual. A metodologia foi estruturada em uma revisão bibliográfica baseada em estudos clínicos e experimentais publicados nos últimos anos, com foco nos efeitos celulares, bioquímicos e clínicos da terapia a laser. Como possível conclusão, espera-se confirmar que a terapia a laser de baixa potência representa uma abordagem eficaz, segura e inovadora, capaz de acelerar a cicatrização, reduzir a dor e o processo inflamatório, transformando a prática odontológica moderna ao oferecer tratamentos menos invasivos e mais confortáveis para os pacientes.

Palavras-chave: Laserterapia. Cicatrização de Feridas. Redução da Inflamação.

¹ Graduando em Odontologia

² Professor Orientador

ABSTRACT

This study addresses the mechanisms of action of laser therapy in the healing of dental wounds and its benefits in the field of dentistry. Laser therapy, especially low-level laser therapy (LLLT), has been widely used due to its ability to accelerate the healing process and provide anti-inflammatory and analgesic effects. The laser acts directly on cells, stimulating cell proliferation, collagen production, and angiogenesis, which are essential for tissue and bone regeneration. Furthermore, lasers assist in controlling inflammation by modulating the release of pro-inflammatory mediators and reducing edema. They also have a direct impact on pain reduction by blocking nerve signal transmission and promoting the release of endorphins. These effects contribute to faster and more comfortable recovery in dental procedures. Although advancements in laser technology are promising, this study acknowledges the need for further clinical research, especially randomized studies, to confirm the efficacy and safety of laser therapy in different dental contexts. Overall, laser therapy represents an innovative and effective approach that transforms modern dental practice by offering less invasive treatments with better prognoses for patients. The study's general objective is to investigate the effects and mechanisms of action of laser therapy in the healing of dental wounds. Among its specific objectives are analyzing the effects of lasers on cell proliferation and collagen production, evaluating the benefits in controlling inflammation and reducing pain, and identifying the mechanisms by which lasers promote tissue regeneration. The methodology was structured as a bibliographic review based on clinical and experimental studies published in recent years, focusing on the cellular, biochemical, and clinical effects of laser therapy. As a possible conclusion, it is expected to confirm that low-level laser therapy represents an effective, safe, and innovative approach capable of accelerating healing, reducing pain and inflammation, and transforming modern dental practice by offering less invasive and more comfortable treatments for patients.

Keywords: Laser therapy. Wound Healing. Inflammation Reduction.

1 INTRODUÇÃO

A recuperação eficaz das feridas pós-extração dentária é essencial para acelerar a cura e garantir a saúde oral dos pacientes (WALKER *et. al*, 2000). Dentre as diversas abordagens terapêuticas, a terapia com laser de baixa potência emerge como potencial ferramenta promissora na otimização desse processo (DAMANTE, 2003. p.4). A aplicação do laser nesse contexto tem sido objeto de crescente interesse científico, à medida que estudos exploram os

efeitos biomoduladores dessa tecnologia na resposta biológica do tecido após a extração dentária (HAKOBYAN, *et. al.*, 2021).

A eficácia do laser, juntamente com outros adjuvantes, para acelerar cicatrização de feridas tem sido associada à sua capacidade de adaptar processos biológicos fundamentais, incluindo a redução da inflamação (LIN, *et. al.*, 2018), o estímulo do crescimento celular (CHAVES, *et. al.*, 2014) e a indução da produção de colágeno (ROMANOS, 2021).

Em contraste com a cicatrização de feridas na mucosa oral, revisões sistemáticas foram capazes de avaliar a eficácia da laserterapia para melhorar a cicatrização alveolar após extrações dentárias. As evidências atuais disponíveis na literatura mostraram que a laserterapia melhorou o processo de cicatrização de feridas, mas esses achados foram limitados ao tipo de laser aplicado e suas configurações específicas (RUPEL, *et al.*, 2018).

A relevância da pesquisa sobre os efeitos da terapia com laser na cicatrização pós-extração dentária reside na constante busca por abordagens inovadoras que possam aprimorar os resultados clínicos e otimizar o processo de recuperação dos pacientes (FEKRAZAD. *et. al.*, 2015).

Os procedimentos de extração dentária, apesar de comuns, podem desencadear uma cascata de eventos biológicos complexos que, quando desregulados, podem resultar em atrasos na cicatrização, dor prolongada e, eventualmente, complicações (ROMANOS, 2021).

O laser de baixa potência, também conhecido como laser terapêutico, tem se destacado como uma ferramenta versátil e segura em diversas áreas da medicina, incluindo a odontologia. Seu efeito biomodulador é uma característica intrigante que tem motivado a investigação científica para compreender melhor como essa tecnologia pode influenciar positivamente o processo de cicatrização em tecidos orais (ROMANOS, 2021).

Além disso, a busca por intervenções que minimizem a dor pós-operatória, reduza o tempo de recuperação e favoreçam a formação adequada de tecido cicatricial é fundamental (RUPEL, *et al.*, 2018). Nesse contexto, a revisão crítica dos estudos existentes sobre a terapia com laser na cicatrização de feridas pós-extração dentária visa consolidar evidências científicas, fornecendo subsídios para a tomada de decisões clínicas embasadas e

contribuindo para a evolução contínua das práticas odontológicas (FEKRAZAD. *et. al*, 2015).

Este artigo tem como objetivo consolidar e analisar criticamente os resultados de estudos anteriores que investigaram os efeitos específicos do laser de baixa potência na cicatrização de feridas pós-extração dentária, buscando evidências que sustentem sua aplicabilidade clínica e contribuam para o avanço no campo da odontologia regenerativa. Portanto, propõe-se a preencher lacunas de conhecimento, promovendo avanços significativos na aplicação clínica do laser terapêutico na odontologia, com impacto direto na qualidade de vida dos pacientes submetidos a procedimentos de extração dentária.

2 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de Revisão de Literatura onde foram utilizadas as seguintes bases de dados Lilacs, Scielo, Google Acadêmico, Repositórios da PUC, UFMG e USP e Pubmed para seleção de artigos científicos escritos na língua inglesa ou portuguesa e publicados entre os anos 2000 e 2024. Para isso foram utilizados os seguintes descritores “Laserterapia na Odontologia”, “Laser na exodontia”, “Efeitos da terapia a Laser pós extração”. Os dados levantados na revisão da literatura foram agrupados em subitens com o objetivo de sistematizar os achados de acordo com a influência da laserterapia na cicatrização de feridas pós-extração. Sendo expostos em forma de tabelas e análise descritiva dos resultados encontrados. Foi realizado uma revisão de literatura caracterizada pelo levantamento de material bibliográfico especializado e trabalho dos conceitos, relacionando as informações científicas sobre o tema com o papel do profissional em odontologia na terapia a Laser para amenizar a dor pós-extração do paciente.

Como critérios de exclusão, foram estabelecidos ano de publicação e objetivos específicos dos trabalhos focando apenas no papel da terapia a laser na amenização da dor pós extração.

Por fim, dos 102 artigos encontrados nas bases de dados, apenas 48 deles foram considerados para a realização deste trabalho, sendo divididos em grupos de importância dos quais, apenas 36 tiveram relevância para o estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Surgimento da Terapia com Laser na Odontologia

O precursor do laser, o "Maser", foi desenvolvido nos Estados Unidos pelo físico Theodore H. Maiman (1960). Consistia em uma haste de cristal de rubi artificial e podia emitir luz vermelha com um comprimento de onda de 694 nm na banda de micro-ondas. O Maser, sigla para *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificação da luz por emissão estimulada de radiação), é hoje genericamente conhecido sob o nome de laser (*light amplification by stimulated emission of radiation* - amplificação da luz por emissão estimulada de radiação). Em seu nome é resumido o princípio básico após o qual todos os sistemas laser funcionam (LÍNS et al., 2010).

Existem duas categorias de lasers baseadas na potência: os de baixa potência (LBP) e os de alta potência (LAP). Os lasers de baixa potência (também conhecidos como terapia a laser de baixa intensidade - LLLT, do inglês *Low-Level Laser Therapy*) têm a capacidade de penetrar superficialmente ou em profundidade, dependendo do comprimento de onda, podendo assim promover a fotobiomodulação. Este processo envolve a redução do tempo necessário para a reparação tecidual, bem como efeitos de modulação na inflamação e analgesia. Por outro lado, os lasers de alta potência são comumente empregados em procedimentos cirúrgicos ou de remoção devido à sua capacidade de elevar a temperatura local. Por meio de processos de vaporização e ablação, esses lasers são capazes de remover tanto tecidos moles quanto tecidos duros, como indicado nos estudos conduzidos por Garcez (2021).

O tratamento a laser requer uma boa compreensão de como eles funcionam e como devem ser manuseados com segurança. Em relação à LLLT de tecidos/células, a temperatura da área alvo não deve exceder 1 °C, implicando uma faixa de potência de 1 a 500 mW. A luz é tipicamente utilizada com densidade de potência entre 1 e 5 W/cm² e aplicada no local lesado por cerca de um minuto, possivelmente algumas vezes por semana durante várias semanas, dependendo do estado do paciente. Portanto, o tratamento não é

térmico, baseado nem em aquecimento nem dano tecidual, mas em um acúmulo de efeitos dependendo da dosagem utilizada (BATINJAN, *et. al*, 2014).

3.2 Mecanismos de Ação do Laser na Cicatrização de Feridas Dentárias

O uso do laser na cicatrização de feridas dentárias tem sido objeto de estudo e aplicação clínica crescente nas últimas décadas. Os lasers são fontes de luz altamente concentrada que podem ser ajustados para diferentes comprimentos de onda e potências, permitindo uma ampla gama de aplicações na odontologia. Quando aplicados em feridas dentárias, os lasers atuam em vários mecanismos que promovem a cicatrização de maneira eficaz (ROMANOS, 2021).

As propriedades foto-físico-químicas da LLLT referem-se ao seu efeito sobre moléculas e receptores de organela, que por sua vez auxiliam no curso de processos biofísicos e subsequentes respostas bioquímicas. A absorção de baixos níveis de radiação laser vermelha e infravermelha pela cadeia respiratória resulta numa cascata de reações bioquímicas intracelulares envolvendo vários componentes celulares, nomeadamente citocromos (GAO, 2009).

Os citocromos são os principais fotoceptores, sendo capazes de absorver luz vermelha e infravermelha de baixa potência irradiada em comprimentos de onda adequados. Essa absorção ativa a cadeia respiratória na mitocôndria, resultando em um estado redox e aumentando a síntese de ATP. Simultaneamente, os portadores de íons de membrana (por exemplo, Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) são ativados, controlando a proliferação celular e o metabolismo (GAO, 2009). Uma cadeia bioquímica intracelular de reações, que produz uma resposta local e sistêmica, acompanha essas alterações físicas e químicas nas moléculas fotorreceptoras. Nas ciências da vida, essa ação é fundamental para controlar o processo e obter uma resposta antiedematosa, anti-inflamatória, angiogênica, cicatrizante e, conseqüentemente, analgésica. Além disso, os efeitos da LLLT sobre o sistema imune e suas propriedades hemorreológicas sugerem potencial para aplicação mais ampla nas ciências da saúde (BATINJAN, *et. al*, 2014).

Miester (2020) afirma que os lasers têm efeitos biológicos diretos nas células envolvidas no processo de cicatrização pois, são capazes de eliminar

microrganismos presentes na cavidade oral, reduzindo o risco de infecções secundárias que podem comprometer o processo de cicatrização. Além disso, os Lasers estimulam a proliferação celular, aumentando a atividade dos fibroblastos, células responsáveis pela produção de colágeno, fundamental na formação do tecido de cicatrização. Os lasers também podem modular a resposta inflamatória, reduzindo a liberação de citocinas pró-inflamatórias e promovendo ação anti-inflamatória (CETINER, KAHRAMAN, YÜCETAŞ, 2004).

A fluência do laser, ou densidade de energia (DE), ainda é considerada a variável mais importante na laserterapia na determinação dos limites máximo e mínimo. Trabalhos recentes têm sugerido que a dosimetria é mais bem descrita em termos de parâmetros de irradiação ("o medicamento" comprimento de onda, densidade de potência [irradiância ou taxa de fluência], estrutura de pulso, coerência e polarização) (MARKOVIC, TODOROVIC, 2006) e (KREISLER, HAJ, NOROOZI, WILLERSHAUSEN, 2004) tempo/energia/fluência liberados ("a dose" – energia, densidade de energia, tempo de irradiação e intervalo de tratamento).

Sabe-se que se a densidade de potência (irradiância ou taxa de fluência) da luz laser aplicada não for alta o suficiente, ou o tempo de exposição for muito curto, não haverá efeito biológico (KREISLER, HAJ, NOROOZI, WILLERSHAUSEN, 2004). Por outro lado, se a densidade de potência for muito alta e o tempo de irradiação for muito longo, a resposta célula/tecido poderia ser inibida. Portanto, a combinação ideal de densidade de potência e tempo de exposição é necessária para os efeitos de estimulação. Esse efeito dose-resposta está relacionado à resposta bifásica, conhecida como "lei de Arndt-Schulz" (MARKOVIC, TODOROVIC, 2006). Resumidamente, estímulos fracos aceleram a atividade, enquanto estímulos mais fortes a aumentam ainda mais até que um pico seja atingido, e estímulos ainda mais fortes suprimem a atividade.

Stein (2020) corrobora com Miester (2020) e enfatiza que outro mecanismo importante é a estimulação da angiogênese, ou seja, a formação de novos vasos sanguíneos. Isso melhora o suprimento de sangue para a área afetada, promovendo uma melhor oxigenação e nutrição celular, fatores essenciais para a cicatrização adequada. Além disso, os lasers também têm sido associados à diminuição da dor pós-operatória e do edema, proporcionando um

ambiente mais favorável para a cicatrização (KREISLER, HAJ, NOROOZI, WILLERSHAUSEN, 2004).

Além dos efeitos diretos nas células e nos tecidos, os lasers também têm a capacidade de modular a expressão de genes relacionados à cicatrização. Eles podem ativar vias de sinalização celular específicas, desencadeando uma resposta coordenada que promove a regeneração tecidual de forma mais rápida e eficiente (CETINER, KAHRAMAN, YÜCETAŞ, 2004).

3.3 Impacto na Redução da Dor e Inflamação

A dor clínica surge da ativação das terminações nervosas periféricas dos nociceptores, da A δ finamente mielinizada e das fibras C não mielinizadas e de condução lenta, que se encontram no interior da epiderme e mucosa, formando uma complexa rede neural (SCHWARZ, *et al.*, 2002). Essas fibras nervosas somatossensoriais traduzem estímulos nocivos, como calor, força mecânica e estímulos químicos de neuropeptídeos inflamatórios, em potenciais de ação (MAZETTO, *et al.*, 2007). O bloqueio desses nervos levaria, portanto, à redução da transmissão de sinais nocivos e daí a redução da dor.

O uso de laser de baixa potência tem demonstrado um impacto significativo na redução da dor e inflamação em várias condições, incluindo feridas dentárias. Os lasers de baixa potência emitem luz em comprimentos de onda específicos que interagem com os tecidos biológicos de maneira não térmica, desencadeando uma série de efeitos bioquímicos e biofísicos (CETINER, KAHRAMAN, YÜCETAŞ, 2004).

Para Schwarz *et al.* (2002) quando aplicados em feridas dentárias, os lasers de baixa potência têm a capacidade de modular a resposta inflamatória, reduzindo a liberação de mediadores pró-inflamatórios e promovendo uma diminuição do edema tecidual. Isso resulta em uma resposta inflamatória mais controlada e menos intensa, o que contribui para um processo de cicatrização mais confortável e rápido.

Em modelo humano semelhante e de acordo com os achados de Wakabayashi *et al.* (1993), Nelson e Friedman (2001) verificaram que a irradiação com laser HeNe suprimiu as amplitudes (mas não latências) dos potenciais evocados somatossensoriais trigeminais pela irradiação intraoral do

nervo maxilar. Ao contrário dos outros estudos citados, este estudo utilizou HeNe pulsada (1,7 mW, 632,5 nm, 50 Hz, 1,73 W/cm²) por 2 minutos. De particular interesse, esses efeitos ocorreram aos 10 e 20 minutos, mesmo período de tempo relatado por Yan *et al.* (2011) para supressão dos efeitos transcutâneos da irradiação de 650 nm e 808 nm na condução nervosa. Esses achados fornecem fortes evidências de que o laser transcutâneo pode inibir a condução nervosa nos nervos subjacentes. Tais efeitos inibitórios não fornecem evidência direta de analgesia; entretanto, Chan e Armati (2012) estabeleceram correlação direta entre bloqueio neural e alívio da dor. Neste estudo, a irradiação do laser de Nd:YAG (240 segundos) para o sulco bucal de dentes pré-molares suprimiu a atividade neural no nervo pulpo-dental e, ao mesmo tempo, reduziu significativamente a dor. Além disso, esses efeitos analgésicos foram equivalentes ao anestésico EMLA (mistura eutética de anestésicos locais lidocaína 2,5% e prilocaína 2,5%). Essa é uma forte evidência para a "hipótese neural" da analgesia induzida por laser.

Os lasers de baixa potência têm efeitos analgésicos, reduzindo a percepção da dor tanto durante quanto após os procedimentos dentários. Eles atuam no sistema nervoso, diminuindo a transmissão de sinais de dor e aumentando a liberação de endorfinas, substâncias naturais do corpo que têm propriedades analgésicas (NELSON E FRIEDMAN, 2001)

Outro mecanismo pelo qual os lasers de baixa potência reduzem a dor e inflamação é através da estimulação da liberação de ATP (trifosfato de adenosina), que é a principal fonte de energia das células. Isso acelera o metabolismo celular e promove uma melhor regeneração dos tecidos danificados, ajudando a reduzir a inflamação e acelerar o processo de cicatrização (CHAN E ARMATI, 2012)

Os lasers de baixa potência podem ter efeitos vasodilatadores, aumentando o fluxo sanguíneo para a área afetada. Isso melhora a entrega de oxigênio e nutrientes aos tecidos, promovendo uma cicatrização mais eficaz e reduzindo a formação de edema (YAN, et al. 2011).

3.4 Estímulo do Crescimento Tecidual e Ósseo:

A regeneração óssea é um processo fisiológico complexo que abrange quatro fases principais: inflamação, transição angiomesenquimal, formação

óssea e remodelação óssea. Apesar de ser um processo ideal, vários fatores como infecções ósseas, doenças sistêmicas e fraturas patológicas podem impedir o seu sucesso, levando ao fracasso do reparo (DIMITRIOU, 2011). Nos últimos anos, uma extensa pesquisa concentrou-se na compreensão da regeneração do tecido músculo-esquelético e no desenvolvimento de estratégias clínicas para melhorar e acelerar este processo.

Abordagens clínicas como tratamentos químicos, estimulação física e fotoestimulação emergiram como fundamentais na estimulação da regeneração óssea (KUNIMATSU ET AL., 2018). Particularmente, a terapia com laser de baixa potência (LPL) tem chamado a atenção pelo seu potencial de influenciar os mecanismos moleculares durante as fases de regeneração. No entanto, resultados conflitantes na literatura necessitam de uma revisão abrangente para elucidar o real papel da fotoestimulação na cicatrização óssea e identificar potenciais aplicações clínicas (DIMITRIOU, 2011).

A consolidação óssea, que compreende inflamação, transição angiomesenquimal, formação óssea e remodelação, depende de intrincadas vias moleculares. A fase inflamatória inicia com a ativação de sinais pró-inflamatórios e fatores de crescimento, desencadeando o recrutamento de várias células, incluindo neutrófilos polimorfonucleares (PMNs), macrófagos e plaquetas, juntamente com proteínas morfogenéticas ósseas (BMP) e células-tronco mesenquimais (MSC) (WANG et al., 2013; A via de sinalização Wnt, notadamente Wnt/ β -catenina, desempenha um papel crucial na modulação desta fase (CALIOGNA et al., 2021).

Durante a fase angiomesenquimal, caracterizada por níveis elevados de fator de crescimento endotelial vascular (VEGF), fator de crescimento derivado de plaquetas (PDGF) e fator de crescimento de fibroblastos (FGF), ocorrem angiogênese e vascularização do local da fratura, facilitando a proliferação e agregação celular (YUN et al, 2010). O recrutamento de MSC marca o início da fase de formação óssea, onde a diferenciação em osteoblastos ou condrócitos é orquestrada por fatores de transcrição como runx-2 e osterix (KARU, 2005). Vias moleculares, incluindo proteína morfogenética óssea (BMP), fator de crescimento transformador β (TGF- β), fosfoinositídeo 3-quinase/Akt/alvo de rapamicina em mamíferos (PI3K/Akt/mTOR) e vias de proteína quinase ativada por mitógeno (MAPK) regulam esta fase (CALIOGNA et al., 2021).

Em última análise, o equilíbrio entre osteoblastos e osteoclastos garante a formação adequada do calo ósseo e a consolidação completa da fratura (FAYAZ et al., 2011). Esta intrincada interação de eventos celulares e moleculares sublinha a importância de compreender e potencialmente manipular estas vias para otimizar a regeneração óssea.

Este intrincado processo é intrinsecamente regulado pelo hormônio do crescimento (GH), que exerce sua influência através de estimulação direta e mediação indireta através do hormônio do fator de crescimento semelhante à insulina IGF-1. O GH orquestra duas funções primárias: em primeiro lugar, estimula a proliferação e a atividade dos osteoblastos, promovendo assim a formação de novos ossos e, em segundo lugar, aumenta simetricamente a diferenciação e a atividade dos osteoclastos, facilitando a reabsorção óssea. Além disso, o GH desempenha um papel fundamental na condução da diferenciação terminal de condrócitos nas áreas de crescimento ósseo (CALIOGNA et al., 2021).

O início da regeneração óssea envolve a ação de vários sinais pró-inflamatórios, incluindo interleucinas, $TNF\alpha$ e interferon- γ (FAYAZ et al., 2011). Diversas abordagens, como tratamentos químicos, estimulação física (forças mecânicas, ultrassom, ondas de choque), fotoestimulação e terapias celulares, têm sido exploradas para estimular e modular esse processo. Entre estas, as terapias celulares, particularmente o emprego de células estaminais mesenquimais (MSCs), surgiram como caminhos promissores devido à sua autorrenovação e pluripotência inerentes. As MSCs, provenientes de vários tecidos como medula óssea, tecido adiposo, pele, cordão umbilical e placenta, oferecem potencial para melhorar a regeneração óssea, com as MSCs derivadas da medula óssea produzindo os resultados mais favoráveis. No entanto, desafios como a variabilidade na qualidade e concentração celular em diferentes fontes de tecidos, juntamente com custos associados e restrições de tempo, sublinham a necessidade de estratégias alternativas (CALIOGNA et al., 2021).

Nessa busca, a terapia com laser de baixa potência (LPL) tem chamado a atenção como um potencial tratamento adjuvante. Acredita-se que a fotoestimulação pela LPL impacta múltiplas atividades biológicas, incluindo a respiração mitocondrial, a produção de ATP e a regulação dos níveis de ERO dentro das células, modulando potencialmente vários processos celulares

(KARU, 2005). Conseqüentemente, numerosos estudos investigaram os efeitos da LPL tanto in vitro, focando principalmente em vários tipos de células, como MSCs derivadas da medula óssea, células endoteliais da veia umbilical humana (HUVEC), MSCs e osteoblastos, e in vivo, particularmente utilizando modelos animais. como ratos e coelhos.

3.5 Perspectivas Futuras e Desafios:

A tecnologia laser na prática odontológica clínica está atualmente em um estágio avançado de desenvolvimento e tem um futuro brilhante. A laserterapia na odontologia é uma nova visão e era que atende às demandas do público por cárie dentária indolor, não invasiva e eficaz. (CALIOGNA et al., 2021). Com a expansão do uso de lasers em tecidos duros e moles na odontologia clínica, o planejamento e o prognóstico do tratamento melhoraram significativamente. De muitas maneiras, a introdução dessa tecnologia transformou a odontologia em uma indústria indolor, sem sangue, com melhor previsibilidade e resultados instantâneos. O laser estimula uma operação mais rápida e sem esforço, com pouco ou nenhum desconforto, resultando em redução do dano tecidual. Mais pesquisas poderiam ser feitas para aumentar seus efeitos térmicos, e seu monitoramento de comprimento de onda poderia ser adicionado à pesquisa avançada (CETINER, KAHRAMAN, YÜCETAŞ, 2004).

Entre as limitações é possível destacar que os efeitos do Laser sobre tecidos duros e moles na conjugação carecem dos aspectos de interrelação; Os efeitos térmicos dos lasers sobre os tecidos devem ser enfatizados no futuro; A acurácia dos comprimentos de onda em estudos futuros deve ser mantida; A seleção de pesquisas potencialmente relevantes para muitas revisões sistemáticas foram baseadas em um pequeno número de bases de dados (YAN, et al. 2011).

O futuro tratamento odontológico pediátrico será aprimorado devido aos benefícios intrínsecos do laser, como analgesia local, técnicas cirúrgicas incruentas e uma fase de cicatrização confortável. Pesquisas futuras são necessárias para entender a eficácia clínica e custo-efetividade dos lasers e ensaios clínicos randomizados duplo-cegos bem projetados (ROMANOS, 2021).

Uma inovação recente na terapia de canal radicular criada por DiVito EE utiliza fótons para produzir fluxo fotoacústico, que gera fortes ondas de choque em níveis sublativos para limpar todo o sistema de canais radiculares tridimensionalmente com irrigantes desinfetantes (YAN, et al. 2011). Pacientes mais velhos e aqueles com periodontite persistente podem se beneficiar mais adicionando lasers às modalidades pós-extração. A restauração precoce, os melhores resultados estéticos da reabilitação protética e a inserção mais fácil do implante são possíveis com menos complicações e maior consolidação óssea (GAO, 2009). Através do monitoramento calculado do comprimento de onda, os efeitos térmicos podem ser aproximados no futuro. Novos comprimentos de onda do laser serão acelerados (como 445 nm, 514 nm e 532), especialmente para fins odontológicos (BATINJAN et al, 2014)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises bibliográficas neste estudo demonstram a eficácia da terapia com laser de baixa potência (LLLT) no processo de cicatrização de feridas dentárias. Os dados indicam que o uso de laser no comprimento de onda adequado promoveu a proliferação celular, aumento na atividade de fibroblastos e melhor produção de colágeno, essenciais para a formação do tecido cicatricial (Miester, 2020). Além disso, foi observada uma redução significativa na inflamação e no edema nas áreas tratadas com laser, devido à modulação da resposta inflamatória e à diminuição da liberação de citocinas pró-inflamatórias (CETINER, KAHRAMAN, YÜCETAŞ, 2004).

Outro ponto relevante foi a capacidade do laser de aumentar a síntese de ATP nas mitocôndrias, acelerando o metabolismo celular e, conseqüentemente, o processo de regeneração tecidual. A angiogênese, estimulada pela LLLT, contribuiu para um melhor suprimento de oxigênio e nutrientes à região afetada, favorecendo uma cicatrização mais eficiente (Stein, 2020). Também foi notado um efeito analgésico significativo, com a redução da percepção da dor tanto durante quanto após os procedimentos, o que corrobora a “hipótese neural” de analgesia induzida por laser (Nelson e Friedman, 2001).

Sendo assim, os efeitos da LLLT sobre a regeneração óssea mostraram-se promissores, com a fotoestimulação influenciando as fases de consolidação óssea, ativando vias moleculares como a proteína morfogenética óssea (BMP) e o fator de crescimento transformador β (TGF- β), o que resultou em uma melhor recuperação de fraturas e lesões ósseas (Kunimatsu et al., 2018).

Isso porque a LLLT demonstrou ser um método eficaz de acelerar a cicatrização através da modulação de mecanismos celulares e moleculares, como a ativação de citocromos e o aumento da produção de ATP nas mitocôndrias, que estimulam diretamente a proliferação celular (Gao, 2009). Esses achados reforçam a ideia de que a fotoestimulação não térmica pode ser uma alternativa viável e eficaz em procedimentos odontológicos, especialmente na cicatrização de tecidos moles e duros.

A redução da inflamação e da dor observada neste estudo também é consistente com as descobertas de Schwarz et al. (2002), que mostraram que a irradiação com laser suprime a liberação de mediadores inflamatórios e inibe a condução nervosa, o que contribui para o alívio da dor. Esse efeito analgésico é de grande relevância para a prática clínica, pois proporciona uma recuperação mais confortável para o paciente, além de reduzir a necessidade de analgésicos e anti-inflamatórios farmacológicos.

Além dos efeitos celulares, o impacto da LLLT na angiogênese e no suprimento sanguíneo também se destacou, confirmando a importância de uma vascularização adequada para o sucesso da cicatrização. Estudos como o de Stein (2020) já haviam sugerido que a formação de novos vasos sanguíneos é um dos principais fatores que contribuem para uma regeneração tecidual mais rápida e eficaz.

Contudo, o sucesso da laserterapia depende fortemente de uma dosimetria adequada, como apontado por Markovic e Todorovic (2006). O equilíbrio entre a densidade de potência e o tempo de exposição é fundamental para evitar efeitos indesejados, como a inibição da resposta celular em casos de superexposição ao laser. Este estudo reforça a necessidade de ajustes precisos dos parâmetros de irradiação para maximizar os benefícios da LLLT.

Por fim, os achados sobre a regeneração óssea corroboram as evidências de que a LLLT pode ter aplicações promissoras na ortopedia e odontologia, especialmente em pacientes com condições ósseas que dificultam o processo

de recuperação, como osteoporose e fraturas patológicas. No entanto, mais estudos clínicos são necessários para determinar a melhor forma de aplicação da LLLT em diferentes contextos clínicos, além de explorar novas faixas de comprimento de onda e combinações terapêuticas.

Esses resultados oferecem uma base sólida para a ampliação do uso clínico do laser de baixa potência, tanto na cicatrização de feridas dentárias quanto na regeneração óssea, com perspectivas futuras promissoras na odontologia e em outras áreas da saúde.

5 ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mecanismos de ação do laser na cicatrização de feridas dentárias destacam o impacto significativo da terapia a laser no avanço das práticas odontológicas. O laser, especialmente os de baixa potência, mostrou efeitos positivos em diversas fases do processo de cicatrização, como a redução da inflamação, modulação da resposta imune e estímulo à regeneração tecidual e óssea. A capacidade dos lasers de promover a proliferação celular, reduzir a dor e o edema, além de melhorar a angiogênese, contribui para uma recuperação mais rápida e confortável para os pacientes.

A precisão nos parâmetros de dosimetria, como o comprimento de onda e a densidade de energia, se mostrou fundamental para otimizar os efeitos terapêuticos, evitando tanto a subestimulação quanto a supressão dos processos biológicos. O desenvolvimento tecnológico na área de lasers tem ampliado suas aplicações, prometendo melhorias não apenas na cicatrização de feridas dentárias, mas também em outros campos da saúde, com benefícios em tratamentos minimamente invasivos e recuperação pós-operatória mais eficiente.

Contudo, apesar dos avanços, ainda há desafios a serem superados. As limitações quanto à padronização dos comprimentos de onda e a necessidade de mais estudos clínicos randomizados indicam que o campo ainda possui áreas que precisam ser exploradas. O futuro da laserterapia na odontologia é promissor, com potencial para transformar práticas clínicas ao oferecer

tratamentos mais eficazes, menos dolorosos e com melhor prognóstico, especialmente em procedimentos cirúrgicos e regenerativos.

Em suma, a terapia a laser tem se consolidado como uma ferramenta poderosa no arsenal odontológico, com efeitos positivos comprovados na cicatrização de tecidos e na regeneração óssea, abrindo caminho para novas pesquisas e inovações que possam aprimorar ainda mais os cuidados de saúde bucal.

REFERÊNCIAS

BATINJAN G, ZORE Z, ČELEBIĆ A, PAPIĆ M, GABRIĆ PANDURIĆ D, FILIPOVIĆ ZORE I. **Thermographic monitoring of wound healing and oral health-related quality of life in patients treated with laser (aPDT) after impacted mandibular third molar removal.** *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014;43(12):1503–1508. doi: 10.1016/j.ijom.2014.09.003 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25277807/> Acesso em 21 abr 2024

CALIOGNA L., MEDETTI M., BINA V., BRANCATO A.M., CASTELLI A., JANNELLI E., IVONE A., GASTALDI G., ANNUNZIATA S., MOSCONI M., et al. **Pulsed Electromagnetic Fields in Bone Healing: Molecular Pathways and Clinical Applications.** *Int. J. Mol. Sci.* 2021;22:7403. doi: 10.3390/ijms22147403.

CETINER S, KAHRAMAN SA, YÜCETAŞ S. **Evaluation of low-level laser therapy in the treatment of temporomandibular disorders.** *Photomed Laser Surg.* 2006 Oct;24(5):637-41. doi: 10.1089/pho.2006.24.637. PMID: 17069496. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17069496/> acesso em 21 abr 2024

CHAN A, ARMATI P. **Pulsed Nd:YAG laser induces pulpal analgesia: a randomized clinical trial.** *J Dent Res* 2012; 91 (7 Suppl): 79S–84S.

CHAVES ME, ARAÚJO AR, PIANCASTELLI AC, PINOTTI M. **Effects of low-power light therapy on wound healing: LASER x LED.** *An Bras Dermatol.* 2014 Jul-Aug;89(4):616-23. doi: 10.1590/abd1806-4841.20142519. PMID: 25054749;

PMCID: PMC4148276. Disponível em: <
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4148276/>> Acesso em 09 mar.
24

DAMANTE, Carla Andreotti. **Avaliação Clínica e Histológica dos Efeitos do Laser em Baixa Intensidade (GAALAS) na Cicatrização de Gengivoplastia em Humanos.** Tese (Mestrado em Odontologia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Bauru, p. 114. 2003. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/25/25137/tde-14032005-095218/publico/CarlaAndreottiDamante.pdf>> Acesso em 09 mar 24

DIMITRIOU R., JONES E., MCGONAGLE D., GIANNOUDIS P.V. **Regeneração óssea: conceitos atuais e direções futuras.** *BMC Med.* 2011; 9:66. DOI: 10.1186/1741-7015-9-66.

FAYAZ H.C., GIANNOUDIS P.V., VRAHAS M.S., SMITH R.M., MORAN C., PAPE H.C., KRETTEK C., JUPITER J.B. **The Role of Stem Cells in Fracture Healing and Nonunion.** *Int. Orthop. (SICOT)* 2011;35:1587–1597. doi: 10.1007/s00264-011-1338-z.

FEKRAZAD, R., MIRMOEZZI, A., KALHORI, K.A., AND ARANY, P. **The effect of red, green and blue lasers on healing of oral wounds in diabetic rats.** *J. Photochem. Photobiol. B* 148: 242–245. 2015

GAO X, XING D. **Molecular mechanisms of cell proliferation induced by low power laser irradiation.** *J Biomed Sci* 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19272168/> Acesso em 21 abr 2024.

GARCEZ, A. S.; NUNEZ, S. C.; RIBEIRO, M. S. **Aplicação clínica do laser na odontologia.** São Paulo, Brasil: Editora Manole, 2020. 9786555764406. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555764406/>. Acesso em: 17 mar. 2024

HAKOBYAN G, YESSAYAN L, KHACHATRYAN G, SEYRANYAN V, MATHEVOSYAN D, *et al.* **Efficacy of Combined Treatment Methods Used For Alveolar Osteitis.** *Res Rep Oral Maxillofac Surg* 5:054. 2021. DOI: [org/10.23937/2643-3907/1710054](https://doi.org/10.23937/2643-3907/1710054). Disponível em: <

<https://clinmedjournals.org/articles/iaoms/research-reports-in-oral-and-maxillofacial-surgery-rroms-5-054.pdf>> Acesso em 09 mar. 24

KARU T.I., KOLYAKOV S.F. **Espectros de Ação Exatos para Respostas Celulares Relevantes à Fototerapia.** *Fotomed. Cirurgia a laser.* 2005; 23:355–361. DOI: 10.1089/2005.23.355.

KREISLER M, HAJ H, NOROOZI N, WILLERSHAUSEN B. **Efficacy of low level laser therapy in reducing postoperative pain after endodontic surgery – a randomized double blind clinical study.** *Int J Oral Maxillofac Surg* 2004; 33(1): 38–41. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14758818/> Acesso em 21 Abr 2024

KUNIMATSU R., GUNJI H., TSUKA Y., YOSHIMI Y., AWADA T., SUMI K., NAKAJIMA K., KIMURA A., HIRAKI T., ABE T., et al. **Lasers Med.** 2018; 33:959–966. DOI: 10.1007/s10103-017-2426-0.

LIN, Guo-Hao, DEL AMO. Fernando Suárez López, WANG. Hom-Lay. **Laser therapy for treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: An American Academy of Periodontology best evidence review.** *J Periodontol.* 2018 Jul;89(7):766-782. doi: 10.1902/jop.2017.160483. PMID: 30133748. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30133748/>> Acesso em 09 mar. 24

LINS, R. D. A. U. et al. **Efeitos bioestimulantes do laser de baixa potência no processo de reparo.** *Anais Brasileiros de Dermatologia*, v. 85, n. 6, p. 849-855, 2010.

MARKOVIC AB, TODOROVIC L. **Postoperative analgesia after lower third molar surgery: contribution of the use of long-acting local anesthetics, low power laser, and diclofenac.** *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodont* 2006; 102(5): e4–8 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17052624/> Acesso em 21 abr. 2024

MAZZETTO MO, CARRASCO TG, BIDINELO EF, DE ANDRADE PIZZO RC, MAZZETTO RG. **Low intensity laser application in temporomandibular disorders: a phase I double-blind study.** *Cranio* 2007; 25(3): 186–192.

MEISTER, J. **Grundlagen der Laserzahnheilkunde**. Wissen Kompakt 14, 91–100 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11838-020-00113-1> Acesso em 21 abr 2024

NELSON A, FRIEDMAN M. **Somatosensory trigeminal evoked potential amplitudes following low-level laser and sham irradiation over time**. *Laser Ther* 2001; 13: 60–64.

ROMANOS, Georgios E. **Lasers and Wound Healing**. Stony Brook University, School of Dental Medicine, Stony Brook, NY, USA, 2021.

RUPEL, K., ZUPIN, L., COLLIVA, A. *et al.* **Photobiomodulation at multiple wavelengths differentially modulates oxidative stress in vitro and in vivo**. *Oxidative Med. Cell. Longev.* 11: 6510159. 2018.

SCHETT G. Effects of Inflammatory and Anti-Inflammatory Cytokines on the Bone: Cytokine Effects on Bone. *Eur. J. Clin. Investig.* 2011;41:1361–1366. doi: 10.1111/j.1365-2362.2011.02545.x

SCHWARZ F, ARWEILER N, GEORG T, REICH E. **Desensitizing effects of na Er:YAG laser on hypersensitive dentine**. *J Clin Periodontol* 2002; 29(3): 211–215. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11940139/> acesso em 21 abr 2024

STEIN, J.M. **Laser in der Zahnheilkunde – die wichtigsten Einsatzgebiete. wissen kompakt** 14, 89 (2020). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11838-020-00112-2> Acesso em 21 abr 2024

WAKABAYASHI H, HAMBACH M, MATSUMOTO K, TACHIBANA H. **Effect of irradiation by semiconductor laser on responses evoked in trigeminal caudal neurons by tooth pulp stimulation**. *Laser Surg Med* 1993; 13(6): 605–610.

WALKER MD, RUMPF S, BAXTER GD, HIRST DG, LOWE AS. **Effect of low-intensity laser irradiation (660 nm) on a radiation-impaired wound-healing model in murine skin**. *Lasers Surg Med.* 2000;26(1):41-7. doi: 10.1002/(sici)1096-9101(2000)26:1<41::aid-lsm7>3.0.co;2-m. PMID: 10637002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10637002/> Acesso em 09 mar. 24

WANG X., WANG Y., GOU W., LU Q., PENG J., LU S. **Papel das células-tronco mesenquimais na regeneração óssea e reparo de fraturas**: uma revisão. *Int. (SICOT)* 2013; 37:2491–2498. DOI: 10.1007/s00264-013-2059-2.

YAN W, CHOW R, ARMATI PJ. **Inhibitory effects of visible 650-nm and infrared 808-nm laser irradiation on somatosensory and compound muscle action potentials in rat sciatic nerve: implications for laser-induced analgesia.** *J Peripher Nerv Syst* 2011; 16(2): 130–135

YUN Y.-R., WON J.E., JEON E., LEE S., KANG W., JO H., JANG J.-H., SHIN U.S., KIM H.-W. **Fibroblast Growth Factors**: Biology, Function, and Application for Tissue Regeneration. *J. Tissue Eng.* 2010;1:218142. doi: 10.4061/2010/218142.