Especialização em Implantodontia

Bianca de Paula Taira

FOTOBIOMODULAÇÃO NA OSSEOINTEGRAÇÃO: FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS E DIRETRIZES CLÍNICAS

São Paulo
2025

Bianca de Paula Taira

FOTOBIOMODULAÇÃO NA OSSEOINTEGRAÇÃO: FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS E DIRETRIZES CLÍNICAS

Monografia apresentada ao curso de especialização Lato Sensu da Faculdade Sete Lagoas - FACSETE, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Implantodontia.

Orientador: Prof. Me. Jorge Taira

Área de concentração: Implantodontia

São Paulo

2025

Monografia intitulada **FOTOBIOMODULAÇÃO NA OSSEOINTEGRAÇÃO: FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS E DIRETRIZES CLÍNICAS** da autoria da aluna **Bianca de Paula Taira**

Aprovada em_____de_____de 2025 por banca constituída pelos seguintes professores:

_____
Prof. Dr. Ricardo Elias Jugdar

_____
Prof. Dr. Paulo Roberto Ramalho

_____
Prof. Dr. Jorge Taira

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, companheiro de jornada e mestre silencioso, que, com trabalho, coragem e generosidade, me deu as bases para sonhar e a estrutura para construir.

É uma honra seguir seus passos na Odontologia e dar continuidade ao legado que você construiu com tanto esforço, ética e amor à profissão.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que caminharam ao meu lado durante toda essa trajetória, oferecendo apoio, incentivo e amor em cada etapa.

À minha mãe, que nunca mediu esforços para me proporcionar todas as oportunidades possíveis e que, com seus conselhos e sabedoria, me fortaleceu em momentos desafiadores.

À minha irmã, Ananda de Paula Taira, cuja dedicação e coragem me inspiram diariamente a crescer e a seguir os meus sonhos com determinação.

Aos meus ancestrais, que, de maneiras invisíveis, pavimentaram o caminho que hoje percorro.

Ao professor Dr. Ricardo Jugdar, pela condução de um curso de excelência, pela dedicação ao ensino e pelas oportunidades oferecidas. Seu papel foi essencial na minha formação profissional.

A todo o corpo docente do curso de Implantodontia da BEO, cuja atuação comprometida e competente foi fundamental em minha jornada acadêmica.

Aos funcionários e colaboradores da clínica, que estiveram presentes no dia a dia com generosidade e parceria, tornando o ambiente de trabalho mais leve, acolhedor e humano.

“A inovação é a chave para melhorar a saúde e salvar vidas."
— Bill Gates

RESUMO

A osseointegração é um processo essencial para o sucesso dos implantes dentários, sendo influenciada por diversos fatores celulares, biomecânicos e ambientais. A fotobiomodulação (PBM), por meio da aplicação de luz de baixa intensidade com lasers ou LEDs, tem sido proposta como recurso terapêutico complementar capaz de acelerar a regeneração óssea e otimizar a estabilidade dos implantes. Este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos da PBM sobre a osseointegração, com ênfase em seus mecanismos biológicos e nos protocolos clínicos utilizados em estudos experimentais e humanos. A revisão crítica da literatura revela que a PBM pode estimular a atividade osteoblástica, modular a inflamação e favorecer a angiogênese, impactando positivamente a qualidade da integração osso-implante. No entanto, a heterogeneidade dos parâmetros aplicados ainda representa um obstáculo à padronização clínica. Conclui-se que a fotobiomodulação apresenta potencial terapêutico relevante, mas a definição de protocolos ideais requer maior uniformização metodológica e evidências clínicas mais robustas.

Palavras-chave: Terapia com Luz de Baixa Intensidade, Osseointegração, Implantes Dentários.

ABSTRACT

Osseointegration is a key process for the long-term success of dental implants, influenced by biological, mechanical, and environmental factors. Photobiomodulation (PBM), through the application of low-level light using lasers or LEDs, has been proposed as a complementary therapeutic approach to enhance bone regeneration and improve implant stability. This study aims to analyze the effects of PBM on osseointegration, focusing on its biological mechanisms and clinical protocols applied in both experimental and human studies. A critical literature review indicates that PBM can stimulate osteoblastic activity, modulate inflammation, and promote angiogenesis, contributing positively to the bone-implant interface. However, the heterogeneity of dosimetric parameters remains a barrier to clinical standardization. It is concluded that PBM holds significant therapeutic potential, but the definition of optimal protocols still demands methodological consistency and stronger clinical evidence.

Keywords: Low level light theraphy, Oss eointegrations, Dental Implan

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10

2 PROPOSIÇÃO. 21

3 REVISÃO DE LITERATURA 22

4 DISCUSSÃO 33

5 CONCLUSÃO 42

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43

1 INTRODUÇÃO

Segundo Branemark (1985), a osseointegração é um fenômeno fundamental para o sucesso da implantação de dispositivos em tecido ósseo, especialmente em implantes dentários e ortopédicos. Trata-se do processo pelo qual o osso vivo se incorpora diretamente à superfície do implante, resultando em uma ancoragem estável e duradoura, sem a participação de tecidos fibrosos intermediários. Essa integração é crucial para assegurar a função do implante ao longo do tempo, garantindo que ele suporte cargas mecânicas sem mobilidade, o que é essencial para a sua longevidade clínica.

A qualidade dessa integração óssea depende de múltiplos fatores, incluindo a biocompatibilidade do material do implante, o design e a superfície, as condições do leito ósseo, a técnica cirúrgica adotada e as condições de carga aplicadas. O tempo de cicatrização e a prevenção de movimentação precoce do implante são determinantes para evitar a formação de uma interface fibrosa, que comprometeria a estabilidade do mesmo. Essa interface fibrosa geralmente resulta de trauma cirúrgico excessivo, superaquecimento durante a perfuração, ou carregamento precoce antes da estabilização óssea adequada, representando uma barreira para a osseointegração. (BRÅNEMARK; ALBREKTSSON, 1985) (FREITAS *et al.*,2015)

No processo de osseointegração, as células ósseas e os fatores de crescimento desempenham papéis essenciais para a formação, remodelação e manutenção do tecido ósseo em contato com o implante. (BRÅNEMARK; ALBREKTSSON, 1985) (FREITAS *et al.*,2015)

As principais células envolvidas são os osteoblastos, osteócitos e osteoclastos. Os osteoblastos são células de origem local responsáveis pela produção da matriz óssea, eles são fundamentais na formação do novo tecido ósseo ao redor do implante. Já os osteócitos, que são osteoblastos maduros incorporados na matriz óssea, participam da remodelação óssea e da manutenção do tecido, podendo realizar reabsorção peri-celular ou atuar em conjunto com os osteoclastos para promover o equilíbrio ósseo. Por sua vez, os osteoclastos têm a capacidade de reabsorver o osso, ação necessária para o processo de remodelação e de substituição óssea, como

ocorre na substituição gradual do tecido necrosado em torno do implante, por meio do mecanismo chamado "substituição por creep", este mecanismo é particularmente importante na reparação da zona necrosada ao redor do implante, facilitando a renovação do tecido ósseo para garantir a integração do implante e a estabilidade mecânica da interface osso-implante. (BRÅNEMARK; ALBREKTSSON, 1985)

Além dessas células diferenciadas, células mesenquimais indiferenciadas têm papel crucial, pois são estimuladas a se transformar em pré-osteoblastos e, posteriormente, em osteoblastos, contribuindo para a regeneração óssea. A diferenciação dessas células depende de estímulos adequados e do ambiente local fornecido pelo implante e pelo leito ósseo. (BRÅNEMARK; ALBREKTSSON, 1985)

Portanto, o equilíbrio e a interação entre as células são fundamentais para o estabelecimento e manutenção da osseointegração, condicionando o sucesso clínico dos implantes.

O processo de osseointegração envolvendo implantes dentários é caracterizado por múltiplas etapas celulares e fisiológicas que garantem a estabilidade do implante, incluindo adesão, proliferação e diferenciação de osteoblastos, além da deposição e mineralização da matriz óssea. Na fase inicial do reparo, há a formação de um coágulo sanguíneo que contém plaquetas e fibrina, responsáveis por liberar fatores de crescimento que atraem células inflamatórias, como neutrófilos e macrófagos, os quais fagocitam debris e secretam citocinas que modulam o início do reparo. Posteriormente, na fase proliferativa, ocorre migração e proliferação de osteoblastos derivados de células osteoprogenitoras mesenquimais; essas células sintetizam a matriz óssea, constituída principalmente por colágeno tipo I, e liberam fatores bioativos que promovem a mineralização do tecido ósseo novo. Durante a maturação, o osso imaturo é gradualmente substituído por osso lamelar organizado, aumentando a resistência mecânica do tecido. A remodelação contínua envolve a ação coordenada dos osteoclastos e osteoblastos para manutenção adaptativa do osso ao redor do implante. (FREITAS *et. al.*, 2015) (LAGO *et.al*, 2021) (FREITAS; HAMBLIM,2016)

Nesse cenário multifatorial que envolve a integração óssea, destaca-se a busca constante por estratégias que possam otimizar e acelerar esse processo biológico.

Entre as abordagens terapêuticas coadjuvantes, a fotobiomodulação (PBM) tem ganhado destaque na literatura por seus efeitos positivos sobre a regeneração tecidual e o metabolismo celular, especialmente no contexto da osseointegração. Estudos demonstram que a aplicação de luz de baixa intensidade pode modular eventos celulares fundamentais, como a atividade osteoblástica, a angiogênese e a resposta inflamatória, influenciando diretamente a qualidade e a velocidade da formação óssea ao redor de implantes (FREITAS *et. al*, 2015) (KUO; CLAYMAN,1997)

Dessa forma, compreender os mecanismos pelos quais a PBM atua e os parâmetros ideais para sua aplicação torna-se essencial para integrá-la de maneira eficaz aos protocolos clínicos voltados à reabilitação oral com implantes dentários.

A fotobiomodulação (PBM) é uma modalidade terapêutica que utiliza radiação luminosa em baixas potências, geralmente na forma de lasers ou diodos emissores de luz (LEDs), para promover estímulos biológicos benéficos em células e tecidos vivos, sem gerar efeitos térmicos ou danos estruturais. Essa técnica baseia-se na capacidade de determinados comprimentos de onda da luz em interagir com cromóforos intracelulares, sendo o citocromo c oxidase, presente nas mitocôndrias, um dos principais alvos dessa radiação. A absorção de luz por essas moléculas desencadeia uma série de reações bioquímicas que culminam na modulação do metabolismo celular (FREITAS; HAMBLIM, 2016) (FREITAS *et. al*, 2015) (KUO; CLAYMAN,1997) (LAGO *et.al*, 2021) (MOREIRA *et. al*,2020)

O efeito bioquímico inicial da PBM resulta no aumento da produção de trifosfato de adenosina (ATP), fundamental para o fornecimento de energia às células, o que repercute na estimulação da proliferação celular, aumento da síntese de proteínas, como o colágeno, e melhora na migração celular. Estes processos são fundamentais para a regeneração tecidual e reparação de lesões (LAGO *et.al*, 2021) (FREITAS; HAMBLIM,2016)) (MOREIRA *et. al*,2020)

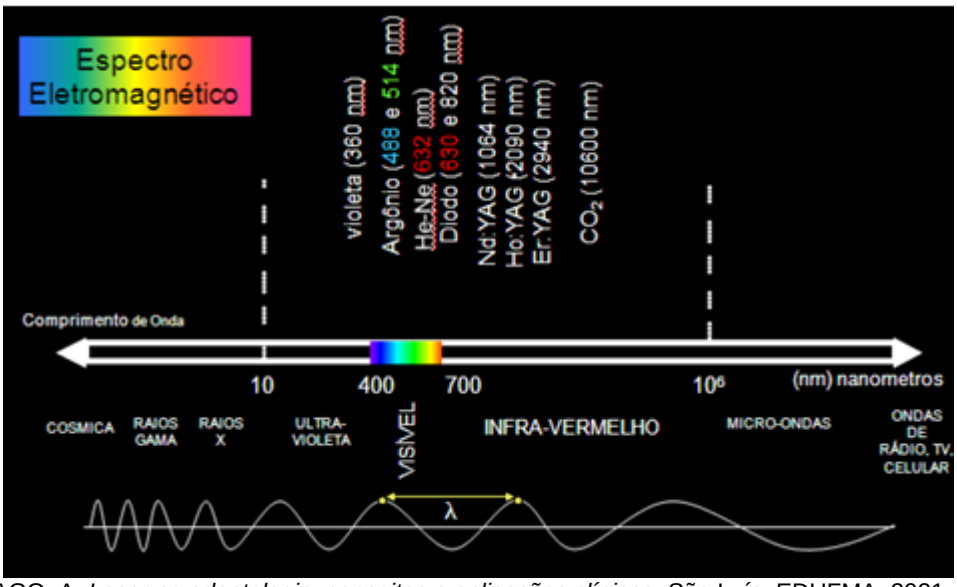
A eficácia terapêutica da fotobiomodulação está diretamente relacionada à interação da luz com os tecidos biológicos, sendo dependente de parâmetros como comprimento de onda, densidade de energia, potência e tempo de aplicação. Para compreender como essas variáveis influenciam os efeitos celulares e moleculares observados na prática clínica, é essencial explorar os fundamentos físicos da luz e,

em especial, as propriedades ópticas do laser, fonte luminosa amplamente empregada na PBM. A análise das características físicas do laser — como sua coerência, monocromaticidade e direcionalidade — permite não apenas entender sua alta seletividade e precisão terapêutica, mas também otimizar sua aplicação em diferentes contextos clínicos (FREITAS *et. al*, 2015). Assim, torna-se necessário aprofundar a compreensão sobre a natureza da luz, o funcionamento dos lasers e os princípios que regem sua interação com a matéria biológica.

O laser, é uma tecnologia baseada na amplificação da luz por emissão estimulada de radiação, como indica seu acrônimo em inglês (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), ou seja, esse fenômeno não ocorre naturalmente. A luz se comporta de duas formas distintas — como onda e como partícula — fenômeno descrito como dualidade onda-partícula. Na forma de onda eletromagnética, é constituída por campos elétricos e magnéticos que oscilam de maneira perpendicular entre si, apresentando propriedades como frequência, período, velocidade de propagação e, especialmente no contexto da fotobiomodulação, o comprimento de onda (λ), que define a característica da fonte luminosa. Já em sua natureza corpuscular, a luz é formada por fótons, partículas portadoras de energia radiante. A forma predominante de manifestação da luz depende do tipo de fenômeno analisado. (LAGO, 2021).

O espectro eletromagnético abrange todas as frequências de radiação eletromagnética, desde as ondas de rádio até os raios gama, incluindo as faixas do ultravioleta, infravermelho e a luz visível. Os comprimentos de onda entre aproximadamente 400 e 780 nm (luz visível) e 780 e 1000 nm (infravermelho), desempenham um papel essencial na interação com os tecidos biológicos. Quando essa radiação incide sobre a matéria, ocorre o fenômeno da absorção, no qual a energia dos fótons é captada por átomos ou moléculas, podendo resultar em transições eletrônicas. (LAGO, 2021) (FREITAS *et. al*, 2015)

Imagem I - Espectromagnético



Fonte: LAGO, A. *Laser na odontologia: conceitos e aplicações clínicas.* São Luís: EDUFMA, 2021. P.56

No contexto da física do laser, sabe-se que os átomos possuem níveis de energia discretos. Em condições normais de equilíbrio, a distribuição populacional desses níveis favorecem a absorção da energia luminosa. No entanto, para que ocorra a geração do laser, é imprescindível a emissão estimulada — um processo no qual um fóton incidente induz a emissão de outro fóton com a mesma frequência, fase e direção, promovendo a amplificação da luz. Esse fenômeno se dá no meio ativo, composto por um material com estrutura eletrônica apropriada para armazenar e liberar energia de maneira controlada. (LAGO, 2021) (FREITAS *et. al*, 2015)) (MOREIRA *et. al*,2020)

Para que a emissão estimulada seja iniciada e sustentada, é necessário o bombeamento, que consiste no fornecimento de energia externa ao meio ativo. Esse processo provoca a inversão populacional, condição em que a maioria das partículas se encontra em estados excitados em relação ao estado fundamental. A estrutura óptica do laser inclui ainda um ressonador óptico — formado por dois espelhos paralelos — que reflete repetidamente a luz através do meio ativo, amplificando progressivamente o feixe luminoso. Um dos espelhos possui semitransparência, permitindo que parte da luz amplificada escape, formando o feixe de laser. (LAGO, 2021) (FREITAS *et. al*, 2015)) (MOREIRA *et. al*,2020).

A oscilação laser resulta desse ciclo contínuo de emissão estimulada no interior do ressonador, gerando um feixe de luz com características únicas: coerência, monocromaticidade, direcionalidade e alta intensidade. Essas propriedades tornam o laser uma ferramenta precisa e eficaz, especialmente nas aplicações clínicas odontológicas, onde o controle rigoroso da energia e da interação com os tecidos é determinante para o sucesso terapêutico. (LAGO, 2021) (FREITAS *et. al*, 2015)) (MOREIRA *et. al*,2020)

A dosimetria do laser é um campo essencial para a aplicação segura e eficaz da terapia com lasers, especialmente em contextos clínicos como a odontologia. Ela se refere à quantificação precisa da energia luminosa entregue aos tecidos biológicos, por meio do controle rigoroso dos parâmetros físicos do equipamento e das condições de aplicação. O correto entendimento e manejo desses parâmetros garantem a otimização dos efeitos terapêuticos, como a fotobiomodulação, bem como a minimização dos riscos de danos aos tecidos irradiados. (LAGO, 2021)

Os principais parâmetros envolvidos na dosimetria do laser são:

1. Potência (P): Expressa em watts (W) ou miliwatts (mW), representa a taxa de emissão de energia do laser por unidade de tempo. Ou seja, potência é a quantidade de energia emitida pelo equipamento a cada segundo.

2. Tempo de aplicação (t): Representa o intervalo durante o qual o laser permanece ativo sobre uma área alvo, normalmente medido em segundos (s).

3. Energia (E): É o produto da potência pelo tempo de aplicação, expressa em joules (J), e indica a quantidade total de energia transferida ao tecido:

$$E=P\times t$$

4. Área do spot (A): Área da superfície sobre a qual a energia é distribuída, geralmente medida em centímetros quadrados (cm^2). O tamanho do spot influencia diretamente na concentração da energia entregue.

5. Densidade de energia ou fluência (DE): Representa a energia distribuída por unidade de área. É um parâmetro fundamental para caracterizar a dose efetivamente aplicada e é dada pela fórmula: com unidade em joules por centímetro quadrado

(J/cm²).

DE=AE

6. Densidade de potência ou irradiância (I): Refere-se à potência aplicada por unidade de área, indicando a intensidade da radiação emitida pelo laser:

I=AP(W/cm2)

Em resumo, a dosimetria do laser constitui a base para aplicar a radiação luminosa com precisão, segurança e eficácia, combinando os parâmetros físicos do equipamento com as particularidades do tecido alvo e a técnica clínica empregada. Dominar esses conceitos é imprescindível para otimizar os efeitos biológicos desejados e garantir tratamentos previsíveis e seguros

TABELA I – Descrição dos parametros de irradiação.

Parâmetro deIrradiação	**Unidade de Medida**	**Descrição**
Comprimento de onda	nm	A luz é uma forma de energia eletromagnética com comportamento de onda. Seu comprimento é medido em nanômetros (nm) e é visível na faixa de 400 a 700 nm.
Irradiância	W/cm²	Também chamada de Densidade de Potência ou Intensidade, corresponde à potência (em watts) dividida pela área (em cm²).
Estrutura do Pulso	Potência de pico (W), Frequência do pulso (Hz), Largura do pulso (s), Ciclo de trabalho (%)	Se o feixe for pulsado, a Potência deve ser a Potência Média, calculada pela fórmula: Potência Média (W) = Potência de pico (W) × largura do pulso (s) × frequência do pulso (Hz).

Fonte: de FREITAS; HAMBLIN, 2016, p. 2.

TABELA II – Descrição dos parametros de dose de luz

Parâmetro de Irradiação	Unidade de Medida	Descrição
Energia	Joules (J)	Não pode ser confundida com dose, pois assume reciprocidade (relação inversa entre potência e tempo). É calculada como: Energia = Potência (W) × Tempo (s).
Densidade de Energia	Joules por cm² (J/cm²)	É um importante descritor de dose, mas pode ser pouco confiável ao considerar que assume relação de reciprocidade entre irradiância e tempo.
Tempo de Irradiação	segundos (s)	Possivelmente a melhor forma de prescrever e registrar a fotobiomodulação seria definindo os quatro parâmetros da Tabela I e considerando o tempo de irradiação como a "dose" real.
Intervalo de Tratamento	horas, dias ou semanas	Diferentes intervalos temporais podem resultar em resultados distintos, mas mais dados são necessários para definir plenamente a extensão dessas diferenças.

Fonte: de FREITAS; HAMBLIN, 2016, p. 2.

A irradiação a laser, especialmente quando aplicada em comprimentos de onda específicos, tem a capacidade de alterar o comportamento celular de forma significativa, sem causar aquecimento térmico relevante nos tecidos. Essa propriedade é essencial para a chamada terapia de fotobiomodulação, também conhecida como terapia com laser de baixa intensidade. A forma como a luz penetra e se dispersa nos tecidos é influenciada por diversos componentes teciduais, como a

densidade celular, o conteúdo de água, colágeno e hemoglobina. O comprimento de onda da radiação utilizada é um fator determinante nessa interação, uma vez que influencia diretamente a absorção da luz pelas estruturas celulares e extracelulares, resultando em respostas bioquímicas e fisiológicas específicas. (FREITAS; HAMBLIM, 2016) (FREITAS *et. al*, 2015) (LAGO *et.al*, 2021) (MOREIRA *et. al*,2020)

No caso da radiação com comprimentos de onda na faixa do infravermelho, observa-se uma menor absorção pela água e uma melhor penetração nos tecidos, o que permite atingir estruturas mais profundas, como os osteoblastos. Estudos demonstram que a irradiação do tecido ósseo com laser infravermelho promove um aumento na proliferação dessas células, além de estimular a deposição de colágeno e a formação de osso novo, em comparação aos tecidos não irradiados. O efeito estimulante do laser é particularmente eficaz na fase inicial da proliferação celular, especialmente sobre fibroblastos, osteoblastos e células mesenquimais indiferenciadas, promovendo sua diferenciação em células formadoras de tecido ósseo. . (FREITAS; HAMBLIM, 2016) (FREITAS *et. al*, 2015) (LAGO *et.al*, 2021) (MOREIRA *et. al*,2020)

Essa estimulação celular resulta em maior atividade metabólica e síntese de matriz extracelular, evidenciada pelo aumento na concentração de fibras colágenas no osso irradiado. A deposição de colágeno é um componente fundamental da matriz óssea, pois fornece o arcabouço estrutural sobre o qual os minerais se depositam durante a formação do tecido ósseo maduro. Esses efeitos têm sido observados tanto em estudos in vitro, utilizando culturas celulares, quanto em modelos in vivo, demonstrando a consistência da resposta biológica à irradiação luminosa.(FREITAS; HAMBLIM, 2016) (FREITAS *et. al*, 2015) (LAGO *et.al*, 2021) (MOREIRA *et. al*,2020)

O principal alvo terapêutico da fotobiomodulação é a enzima citocromo c oxidase, localizada na membrana interna das mitocôndrias e atuante como o complexo IV da cadeia respiratória. Essa enzima contém centros metálicos, como grupos heme e cobre (íons), que são sensíveis à absorção de luz nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo. A estimulação da citocromo c oxidase pela luz leva ao aumento da atividade respiratória mitocondrial, elevando a produção de trifosfato de adenosina (ATP), que é a principal fonte de energia celular. Esse aumento energético resulta na restauração e intensificação de funções celulares, incluindo a

proliferação, o crescimento e a diferenciação de células como fibroblastos e queratinócitos, todos essenciais para os processos de regeneração e cicatrização tecidual. . (FREITAS; HAMBLIM, 2016)

Além da elevação da produção de ATP, a ativação da mitocôndria por meio da luz também induz a geração controlada de espécies reativas de oxigênio (ROS). Essas moléculas, como ânion superóxido e peróxido de hidrogênio, funcionam como segundos mensageiros intracelulares, ativando vias de sinalização molecular que modulam a expressão gênica. Entre os efeitos observados estão o aumento na produção de proteínas envolvidas na reparação tecidual, como enzimas antioxidantes, e a liberação de fatores de crescimento, que favorecem tanto a regeneração de tecidos moles quanto a formação óssea. . (FREITAS; HAMBLIM, 2016)) (LAGO *et.al*, 2021)

Nesse sentido, destaca-se a elevação nos níveis do fator de crescimento de fibroblastos (FGF), que tem papel importante na estimulação da proliferação e maturação de células osteoprogenitoras, além de promover a síntese de componentes da matriz óssea. Paralelamente, a fotobiomodulação favorece a angiogênese — a formação de novos vasos sanguíneos —, aumentando a vascularização do tecido irradiado. Essa resposta vascular precoce é crucial para a nutrição celular e remoção de metabólitos, contribuindo significativamente para a aceleração do processo de reparação. . (FREITAS; HAMBLIM, 2016)) (LAGO *et.al*, 2021)

A fotobiomodulação também exerce um efeito anti-inflamatório relevante, atuando na modulação da resposta imunológica. Estudos demonstram que a aplicação do laser reduz a liberação de citocinas pró-inflamatórias, como a interleucina-1 (IL-1), interleucina-6 (IL-6) e o fator de necrose tumoral alfa (TNF-α). Simultaneamente, há um aumento na produção de mediadores anti-inflamatórios, promovendo uma resposta imunológica mais equilibrada e favorecendo a resolução rápida da inflamação, com consequente diminuição do edema e do tempo de cicatrização. . (FREITAS; HAMBLIM, 2016)

Outro mecanismo importante de ação da terapia é o seu efeito analgésico, mediado pela atuação sobre fibras nervosas e terminações nociceptivas. A luz modulada influencia a condução dos impulsos nervosos e interfere na liberação de

neurotransmissores responsáveis pela sensação de dor. Esse mecanismo resulta em alívio clínico significativo, especialmente em casos de lesões orais, pós-operatórios e outras condições inflamatórias agudas ou crônicas. .(FREITAS; HAMBLIM, 2016) (FREITAS *et. al*, 2015) (LAGO *et.al*, 2021) (MOREIRA *et. al*,2020)

Além dos efeitos celulares diretos, a fotobiomodulação melhora a microcirculação local, por meio da vasodilatação induzida pela liberação de óxido nítrico e outros mediadores vasculares. Essa ampliação do fluxo sanguíneo local aumenta a oferta de oxigênio e nutrientes ao tecido lesionado, o que é essencial para sustentar os processos de regeneração e para manter um ambiente tecidual adequado à reparação. .(FREITAS; HAMBLIM, 2016) (FREITAS *et. al*, 2015) (LAGO *et.al*, 2021) (MOREIRA *et. al*,2020)

Apesar dos resultados positivos observados em diversos estudos experimentais e clínicos, a definição de protocolos padronizados para a terapia com laser de baixa intensidade continua sendo um desafio. A ampla variedade de combinações possíveis entre parâmetros como comprimento de onda, potência, densidade de energia e tempo de exposição dificulta a uniformização dos resultados. Entretanto, a literatura aponta que a eficácia terapêutica da fotobiomodulação depende fortemente da adequação da dosimetria, isto é, da seleção correta da dose de energia aplicada, respeitando-se a janela terapêutica — a faixa ideal de energia que desencadeia efeitos biológicos positivos sem causar inibição celular ou dano tecidual

Diante ao exposto compreende-se que a osseointegração é um processo essencial para o sucesso dos implantes dentários, e PBM tem se mostrado uma aliada eficaz nesse contexto. Com propriedades bioestimulantes, a PBM favorece a regeneração tecidual, acelera a cicatrização e estimula a formação óssea, contribuindo diretamente para uma integração mais rápida e estável entre o implante e o tecido ósseo. Reconhecendo esses benefícios, o Conselho Federal de Odontologia (CFO), por meio da resolução de 2008, regulamenta o uso da laserterapia como uma prática complementar legítima na odontologia, desde que realizada por profissionais devidamente habilitados. Essa regulamentação reforça a importância da aplicação segura e responsável da PBM, integrando avanços tecnológicos à prática clínica com respaldo ético e científico.

2 PROPOSIÇÃO.

O presente trabalho tem como objetivo analisar os efeitos da fotobiomodulação na osseointegração de implantes dentários, com ênfase nos fundamentos biológicos envolvidos e nas diretrizes clínicas extraídas de estudos clínicos. Considerando-se a crescente busca por métodos adjuvantes que aumentem a previsibilidade e o sucesso dos implantes, a fotobiomodulação destaca-se como uma técnica segura, de baixo custo e fácil aplicação, com potencial para melhorar os desfechos clínicos e reduzir complicações. Diante da ausência de protocolos clínicos padronizados e da variabilidade dos resultados observados na literatura, torna-se essencial compreender sua aplicabilidade e efetividade no contexto da implantodontia.

3 REVISÃO DE LITERATURA

BRANEMARK *et al.* (1985) descreveu o processo da osseointegração em implantes dentários, sendo as possíveis respostas ao trauma, a formação de um tecido fibroso, necrose ou reparo efetivo seguido de neoformação óssea. O autor explica que para a cicatrização adequada são necessárias as células especializadas (Osteoblastos, osteócitos e Osteoclastos), uma vascularização eficiente e um estímulo reparador apropriado e aponta que o trauma excessivo e temperaturas acima de 47° prejudicam a sobrevivência óssea facilitando a formação de tecido fibrótico, ou seja, a falha do processo.

CLAYMAN e KUO (1997) contextualizam a história e as considerações físicas do laser aplicados à Odontologia. Em seu livro descrevem os diferentes tipos de laser, comprimento de onda, espectro eletromagnético, modo de emissão e potência para posteriormente descreverem as aplicações clínicas/cirúrgicas.

CFO (2008) regulamenta o uso das práticas integrativas e complementares na odontologia, reconhecendo a laserterapia como parte do exercício profissional do cirurgião-dentista. A resolução estabelece os critérios para habilitação dos profissionais, incluindo comprovação de experiência, aprovação em concurso ou certificado de cursos com carga horária mínima e corpo docente qualificado. Além disso, define um conteúdo programático detalhado para formação em laserterapia, abrangendo aspectos físicos e biológicos, interação da luz com tecidos biológicos e orais, dosimetria, aplicações clínicas dos lasers e LEDs, terapia fotodinâmica, e normas de segurança. Dessa forma, assegura uma prática ampla, segura e alinhada com as exigências técnicas e éticas da profissão.

GOMES *et al.* (2014) realizaram um estudo experimental com 32 coelhos para avaliar os efeitos da terapia a laser de baixa intensidade na osseointegração de implantes inseridos imediatamente após a extração do incisivo mandibular. Os animais foram divididos em quatro grupos, recebendo LLLT com laser GaAlAs (830 nm, 50 mW - contínuo) em doses de 5, 10 e 20 J/cm² ou não recebendo irradiação (controle). O protocolo consistiu na aplicação do laser a cada 48 horas durante 13 dias, totalizando sete sessões. A avaliação da osseointegração foi realizada por meio da análise da estabilidade do implante via ressonância de frequência (ISQ),

microscopia eletrônica de varredura e análise estereológica da neoformação óssea ao redor dos implantes. Os resultados demonstraram que a dose de 20 J/cm² promoveu significativo aumento da estabilidade e maior contato osso-implante, indicando que a fotobiomodulação pode acelerar o processo de osseointegração, sugerindo parâmetros clínicos promissores para intervenção terapêutica em implantes dentários.

FRETAS *et al.* (2015) escreveram um livro completo contextualizando o uso do laser na odontologia desde seus princípios físicos, mecanismos e interações biológicas, até suas aplicabilidades em cada especialidade. No capítulo de cirurgia oral explica a vantagem da fotobiomodulação tanto em tecidos moles quanto em tecidos duros. Focando na osseointegração é descrito que a laserterapia mostrou que dentre seus efeitos de biomodulação estão presentes a aumento na produção de ATP (Trifosfato de Adenosina – responsável por fornecer energia celular - cicatrização de feridas, proliferação de fibroblastos, síntese de colágeno, melhora na vascularização e angiogênese, aumento na proliferação de osteoblastos e neoformação óssea.

MANDIĆ *et al.* (2015) realizaram um ensaio clínico duplo-cego com 12 pacientes, nos quais foram inseridos 44 implantes auto-rosqueáveis na região posterior da maxila com baixa densidade óssea. Um lado da maxila recebeu terapia a laser de baixa intensidade (LLLT) utilizando um laser de gallium-aluminum-arsenide (GaAlAs) com comprimento de onda de 637 nm, potência de 40 mW e densidade de energia de 6,26 J/cm² por implante, aplicado imediatamente após a cirurgia e diariamente durante os sete dias subsequentes. A estabilidade dos implantes foi avaliada por meio de análise de frequência de ressonância (RFA), e a atividade da fosfatase alcalina (ALP) foi medida no fluido crevicular periimplantar. Os resultados mostraram que os implantes irradiados apresentaram maior estabilidade, com diferença estatisticamente significativa na quinta semana pós-operatória; entretanto, não houve diferença significativa entre os grupos quanto à atividade da ALP. A taxa de sucesso precoce dos implantes foi 100% em ambos os grupos. O estudo conclui que o uso diário de LLLT no período pós-operatório imediato não influenciou significativamente a osseointegração dos implantes auto-rosqueáveis inseridos em osso de baixa densidade.

MASSOTTI *et al.* (2015) conduziram um estudo experimental com 24 coelhos submetidos à extração do incisivo mandibular e inserção imediata de implantes de

titânio em alvéolos frescos. Os animais foram divididos em três grupos tratados com laser de baixa intensidade (AlGaAs, 830 nm - contínuo) em diferentes densidades energéticas (5, 10 e 20 J/cm²) e um grupo controle, recebendo aplicações a cada 48 horas durante 13 dias, totalizando sete sessões. A avaliação histomorfométrica demonstrou que o grupo submetido à maior densidade (20 J/cm²) apresentou melhora significativa na osseointegração, evidenciada pelo aumento do contato osso-implante e da área de fibras de colágeno. Os autores concluíram que a fotobiomodulação com LLLT, especialmente nas doses mais elevadas, promove estímulo positivo na regeneração óssea ao redor dos implantes na mandíbula, sugerindo protocolos clínicos promissores para otimizar o processo de integração óssea em implantodontia.

ROMÃO *et al.* (2015) conduziram um estudo clínico randomizado com 20 pacientes submetidos à extração de molares, divididos em grupo controle e grupo tratado com laserterapia de baixa intensidade (LPT) utilizando um laser de 808 nm com 100 mW - contínuo, aplicando 3 J por ponto em cinco pontos da área operada, totalizando 15 J por sessão. A fotobiomodulação foi administrada imediatamente após a cirurgia e em intervalos regulares durante o período de cicatrização de 40 dias. A análise da osseointegração foi realizada por meio de microtomografia computadorizada e histomorfometria, permitindo a avaliação quantitativa do volume ósseo neoformado e parâmetros trabeculares. Os resultados mostraram aumento significativo do volume ósseo relativo no grupo laser, sugerindo que a LPT acelera o processo de reparo ósseo alveolar, favorecendo uma arquitetura trabecular mais homogênea e propícia à osseointegração. Os autores concluíram que a fotobiomodulação pode ser uma estratégia eficaz para otimizar a regeneração óssea em alvéolos frescos, com potencial aplicação em protocolos clínicos para melhorar a estabilidade e sucesso dos implantes dentários.

DE FREITAS e HAMBLIN (2016) revisaram os mecanismos propostos da fotobiomodulação, destacando sua aplicação em diversos tecidos, incluindo a osseointegração. A pesquisa discute como a luz nas faixas do vermelho e infravermelho próximo, aplicada em doses específicas, pode estimular a atividade mitocondrial por meio da absorção pela citocromo c oxidase, resultando na melhora do metabolismo celular, proliferação e diferenciação de osteoblastos. Protocolos típicos envolvem irradiâncias entre 10 e 100 mW/cm² e doses na faixa de 1 a 10 J/cm²,

aplicados em sessões frequentes durante fases iniciais da cicatrização óssea. Os autores concluíram que a PBM tem potencial promotor da osseointegração, favorecendo a regeneração óssea e a resposta inflamatória controlada, embora ressaltem a necessidade de padronização dos parâmetros para otimizar os resultados clínicos, reforçando a eficácia da terapia no suporte à implantodontia e processos de reparo tecidual.

KIM *et al.* (2016) conduziram um estudo experimental utilizando 13 coelhos New Zealand, nos quais implantes de titânio foram inseridos nos fêmures bilaterais, dividindo os animais em grupo tratado com terapia a laser de baixa intensidade e grupo controle. A aplicação da LLLT foi realizada com laser 808 nm (infravermelho), totalizando 6J , iniciada no dia da cirurgia e repetida diariamente por sete dias consecutivos. Para avaliação da osseointegração, foram utilizados métodos como análise histomorfométrica da relação osso-implante (BIC), teste de torque para remoção e análise de frequência de ressonância (RFA). Os resultados revelaram que a LLLT promoveu maior adesão óssea ao implante em nível celular e tecidual, embora as medidas biomecânicas não tenham apresentado diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Os autores concluíram que a fotobiomodulação pode estimular a osseointegração, mas destacaram a necessidade de estudos adicionais para validar sua efetividade clínica e padronizar protocolos terapêuticos.

YANAGUIZAWA *et al.* (2016) conduziram um estudo preliminar avaliando os efeitos da terapia com laser de baixa intensidade na resposta inflamatória imediata após a colocação de mini-implantes ortodônticos em dez voluntários. O protocolo consistiu na aplicação de laser diodo de 660 nm, com potência de 40 mW (contínuo), por 1 minuto, totalizando 2,4 J de energia, direcionado à região peri-implantar do lado direito da maxila, enquanto o lado esquerdo serviu como controle sem irradiação. A avaliação da osseointegração foi indireta, por meio da mensuração dos níveis de interleucinas pró-inflamatórias IL-6 e IL-8 no fluido crevicular peri-implantar durante 72 horas após a inserção. Os resultados mostraram que a LLLT modulou a resposta inflamatória inicial, reduzindo os níveis de IL-8 e aumentando IL-6 no grupo irradiado, sugerindo um ambiente biológico mais favorável para osseointegração e estabilidade do mini-implante. Conclui-se que a fotobiomodulação com os parâmetros utilizados

pode contribuir para a melhora do prognóstico e redução do desconforto do paciente após a inserção dos mini-implantes

COTOMACIO *et al.* (2017) explicam que, para que ocorra um efeito biológico, é essencial que o laser interaja com os tecidos por meio dos cromóforos — estruturas com afinidade pelas partículas luminosas, capazes de absorvê-las e desencadear reações celulares e teciduais. Segundo os autores, a terapia com laser de baixa potência, também denominada fotobiomodulação, é uma intervenção não ionizante e não térmica que promove eventos fotofísicos e fotoquímicos. Esses eventos resultam em efeitos terapêuticos como alívio da dor e da inflamação, estímulo à cicatrização e regeneração tecidual, além de efeitos imunomodulatórios. Tais respostas ocorrem a partir do restabelecimento das funções celulares normais, como a proliferação, diferenciação e secreção de proteínas. Prém afirma que quando a dose de energia é excessiva pode ocorrer a inibição da atividade celular.

JONASSON *et al.* (2017) conduziram um estudo experimental utilizando defeitos críticos de 5 mm no calvário de ratos, avaliando os efeitos da terapia a laser de baixa intensidade (LLLT) associada ou não ao concentrado de plaquetas (PC) no reparo ósseo. Os animais foram divididos em quatro grupos: LLLT combinada com PC (LP), PC isolado (PC), LLLT isolado (L) e controle (C), recebendo autógeno ósseo. A LLLT (infravermelho) foi aplicada seguindo um protocolo de 7,5 J/cm² durante 1 minuto, em um ponto localizado na região central do defeito durante os primeiros sete dias pós-operatórios. Os resultados indicaram que a LLLT isolada promoveu maior formação óssea, redução da inflamação e maior maturação do tecido ósseo, enquanto o uso do PC manteve tecido conjuntivo e induziu fibrose, limitando os benefícios esperados. Dessa forma, o estudo ressalta a eficácia da fotobiomodulação na osseointegração, ao passo que a combinação com PC não apresentou melhoria adicional no processo de regeneração óssea.

TORKZABAN *et al.* (2017) conduziram um ensaio clínico randomizado com 80 implantes em 19 pacientes, divididos em grupo teste e controle. O grupo teste recebeu sete sessões de fotobiomodulação com aplicação nas superfícies bucal e palatina do implante, totalizando 8 J por sessão e 56 J no total, durante as duas primeiras semanas após a cirurgia nos dias 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12. A estabilidade dos implantes foi medida pelo índice ISQ com dispositivo Osstell Mentor imediatamente e em 10

dias, 3, 6 e 12 semanas pós-operatórias. Os resultados mostraram que o laser não teve efeito significativo na estabilidade dos implantes em ossos de densidade D3 e D4, embora tenha havido uma tendência de estabilidade mais lenta na primeira semana e aumento da estabilidade do 6º ao 12º semana no grupo laser

MATYS *et al.* (2018) pesquisaram sobre 40 implantes posicionados na região posterior da mandíbula em 24 pacientes, que foram divididos em grupo experimental (irradiado) e grupo controle (não irradiado). O protocolo de aplicação consistiu na irradiação do tecido mole peri-implantar com laser de 635 nm, potência de 100 mW, dose de 4 J por ponto (8 J/cm²), tempo de 40 segundos em dois pontos (buccal e lingual) por sessão, totalizando seis sessões distribuídas entre um dia antes da cirurgia e até 14 dias após o procedimento. Os resultados demonstraram que o grupo tratado com laser apresentou significativamente maior estabilidade secundária dos implantes após quatro semanas e aumento da densidade óssea nos níveis médio e apical após doze semanas, em comparação ao grupo controle. Dessa forma, a fotobiomodulação com laser vermelho mostrou-se eficaz para melhorar a osseointegração e o reparo ósseo em implantes dentários, corroborando a potencialidade do LLLT como técnica adjuvante para otimização de resultados clínicos em implantodontia.

MARANÓN-VÁSQUEZ *et al.* (2019) conduziram um estudo clínico com 19 pacientes para avaliar o efeito da fotobiomodulação na estabilidade e deslocamento de mini-implantes ortodônticos submetidos a cargas imediatas e tardias. Foram avaliados 48 mini-implantes distribuídos em quatro grupos, combinando PBM (laser diodo de 660 nm e 808 nm) e protocolos de carga imediata ou tardia. O protocolo de aplicação da PBM consistiu na emissão de laser diodo com comprimento de onda de 660 nm (vermelho) aplicada imediatamente após a inserção dos mini-implantes com dose de 4 J/cm², seguida da aplicação de laser infravermelho de 808 nm em sessões subsequentes a cada 48 a 72 horas durante duas semanas, com dose de 8 J/cm². Os resultados evidenciaram que a PBM, especialmente quando associada à carga tardia, reduziu a perda de estabilidade dos mini-implantes, sem interferir significativamente no deslocamento, porém quando comparado os dois grupos de carga imediata, o grupo que recebeu a fotobiomodulação teve melhor estabilidade do que o grupo controle,.sugerindo que a terapia pode favorecer a osseointegração.

GULATI *et al.* (2020) conduziram um estudo piloto com 20 implantes distribuídos em dois grupos, sendo um controle e outro tratado com terapia a laser de baixa intensidade utilizando laser diodo de 980 nm, potência de 0,1 W e densidade de energia de 4 J/cm² aplicado em seis pontos ao redor do implante, durante quatro sessões entre o momento da cirurgia e 14 dias após. A avaliação da osseointegração foi realizada por radiografias intraorais digitais e tomografia computadorizada cone beam em diferentes períodos de até um ano após a carga protética. Os resultados evidenciaram que a aplicação da LLLT reduziu significativamente a reabsorção óssea crestal no grupo irradiado, sugerindo melhora na resposta biológica dos tecidos peri-implantares e maior preservação óssea. Os autores concluíram que a fotobiomodulação mostrou-se eficaz como coadjuvante na manutenção dos níveis ósseos ao redor dos implantes, destacando a necessidade de estudos com maior número de pacientes e períodos de acompanhamento mais longos para confirmação dos efeitos observados

MOHAJERANI *et al.* (2020) conduziram um ensaio clínico randomizado para avaliar o efeito combinado da terapia com laser de baixa intensidade e diodo emissor de luz (LED) na estabilidade dos implantes dentários durante o período de cicatrização. O protocolo consistiu na aplicação diária de LLL (830 nm, 15 mW/cm²) e LED (632 nm, 10 mW/cm²) por 20 minutos, durante 10 dias consecutivos após a cirurgia de inserção dos implantes. A estabilidade dos implantes foi monitorada por meio da análise da frequência de ressonância (RFA), medida pelo índice de estabilidade do implante (ISQ) em diferentes momentos: imediatamente após a cirurgia, e nos dias 10, 21, 42 e 63. Os resultados demonstraram que a combinação de LLL e LED promoveu um aumento significativo na estabilidade dos implantes a partir da segunda semana, sugerindo uma melhora na osseointegração. Concluiu-se que a fotobiomodulação associada pode acelerar o processo de cicatrização óssea e favorecer condições adequadas para a carga precoce dos implantes.

SAMPAIO *et al.* (2020) conduziram um ensaio clínico randomizado, duplo-cego, para avaliar o efeito da Terapia de Fotobiomodulação na estabilidade de implantes osseointegrados em alvéolos de pacientes submetidos à exodontia bilateral de molares inferiores. O protocolo de aplicação da PBMT utilizou laser de diodo GaAlAs com comprimento de onda de 808 nm - contínuo, potência de 100 mW e energia de 2,5 J por ponto, aplicado em cinco pontos do alvéolo nos momentos

imediato, 24, 48, 72, 96 horas, sete e quinze dias após a cirurgia. A osseointegração foi avaliada por Análise de Frequência de Ressonância, mensurando a estabilidade primária na instalação dos implantes (45 dias após as exodontias) e a estabilidade secundária na reabertura após 90 dias. Os resultados não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os lados tratados com PBMT e os controles em ambos os períodos, sugerindo que, apesar dos efeitos bioestimulantes da fotobiomodulação documentados na literatura, sua aplicação clínica para aumento da estabilidade dos implantes requer protocolos adicionais e maior investigação.

SANTOS (2020) conduziu um estudo experimental avaliando os efeitos do LASER de baixa potência associado ou não ao β-tricálcio-fosfato no reparo alveolar em ratos Wistar submetidos à exodontia do incisivo superior direito. Foram divididos grupos (1)controle, (2)biomaterial, (3)LASER isolado (4)biomaterial + LASER, com protocolo de 6 J por sessão (laser vermelho)) logo após o procedimento cirúrgico acompanhando o processo de reparo ósseo por até 28 dias por meio de análises microtomográficas, histológicas e histométricas. Os resultados demonstraram que a fotobiomodulação acelerou significativamente a neoformação óssea nas fases iniciais da reparação, destacando a viabilidade e o estímulo dos osteócitos no grupo irradiado. Assim, o trabalho reforça a eficácia do laser de baixa potência como recurso promissor para acelerar a osseointegração nas fases iniciais do reparo ósseo.

KINALSKI *et al.* (2021) conduziram um ensaio clínico randomizado para avaliar os efeitos da terapia a laser de baixo nível na estabilidade de implantes dentários instalados em sítios ósseos cicatrizados. O estudo utilizou um laser de diodo GaAlAs com comprimento de onda de 808 nm e uma densidade de energia total de 66 J/cm², aplicado em seis pontos ao redor do leito ósseo, antes da preparação do implante e após a sutura. A osseointegração foi avaliada pela medição do índice de estabilidade do implante (ISQ) e pela análise radiográfica da altura óssea peri-implantar. Os resultados não demonstraram diferença significativa entre os grupos tratado e controle em relação à estabilidade primária e secundária dos implantes, indicando que, sob as condições testadas, a LLLT não influenciou a osseointegração de forma relevante. Esses achados reforçam a necessidade de estudos adicionais para padronização dos protocolos de fotobiomodulação e sua aplicação clínica na odontologia.

LAGO *et al.* (2021) ao descrever a natureza da luz nos apresenta seus conceitos físicos, como a frequência, período e velocidade de propagação e comprimento de onda - sendo esse um dos mais importantes. A luz visível tem seu intervalo entre 400 nm a 780 nm, apresentando diferentes cores que por ordem crescente são azul, verde, amarelo, laranja e vermelho, ultrapassando essas medidas, teremos a radiação infravermelha e caso esteja abaixo teremos a ultra violeta.

PALLED *et al.* (2021) avaliou a terapia de laser de baixa intensidade em dois grupos (n=30) - controle e teste. O protocolo utilizado foi de 2 J/cm^2 (infravermelho), na direção mesial-distal de cada implante , no dia da cirurgia, 2 semanas, 6 semanas e 3 meses após a intervenção. Foi observado que o grupo teste apresentou valores significantemente maiores na estabilidade do implante, e níveis de osteoprotegerina que regula a diferenciação dos osteoclastos, favorecendo a manutenção ou aumento ósseo. Concluiu- se que, dentro de suas limitações, a terapia de laser de baixa intensidade pode melhorar a cicatrização de tecidos duros e moles ao redor do implante dentário.

CAMOLESI *et al.* (2023) conduziram um estudo clínico randomizado e duplo-cego para avaliar o efeito da fotobiomodulação com laser diodo de 808 nm e 630 nm na estabilidade e cicatrização de implantes dentários. Foram inseridos 40 implantes em 13 pacientes, divididos em grupos experimental, que recebeu duas sessões de laser totalizando 10 Joules por aplicação (4 J nas faces bucal e palatina/lingual com infravermelho e 2 J na face oclusal com laser vermelho), e controle, com tratamento simulado. A estabilidade dos implantes foi mensurada por análise de frequência de ressonância em vários momentos pós-operatórios, enquanto a cicatrização e inflamação foram avaliadas por índices clínicos. Os resultados mostraram que, embora a fotobiomodulação não tenha aumentado significativamente a estabilidade secundária dos implantes, promoveu redução da inflamação e melhorou a cicatrização dos tecidos moles ao redor dos implantes, indicando seu benefício no processo reparativo pós-cirúrgico

ALLENDE *et al.* (2024) realizaram um ensaio clínico duplo-cego, contando com 20 pacientes que receberam aplicação única de LLLT imediatamente após o procedimento, utilizando um protocolo com emissão combinada de luz vermelha (660

nm) e infravermelho próximo (808 nm), totalizando 4,5 J distribuídos em cinco pontos ao redor de cada implante. Os resultados demonstraram redução significativa da intensidade da dor nas primeiras 24 horas após a cirurgia, evidenciando o potencial analgésico e anti-inflamatório da fotobiomodulação como terapia adjuvante. Além disso, o estudo destaca que a LLLT possui efeitos regenerativos importantes, como o aumento da microcirculação e a melhora na reparação tecidual, que criam um ambiente favorável para o processo de osseointegração. A pesquisa enfatiza a importância da LLLT para melhorar o conforto do paciente, promover a cicatrização óssea e sugere a necessidade de estudos futuros para otimizar protocolos e aprofundar o entendimento dos mecanismos biológicos envolvidos

SINGHANIA *et al.* (2024) descreveram um estudo de caso avaliando o efeito da fotobiomodulação com laser diodo de 940 nm na densidade óssea crestal ao redor de implantes dentários em um paciente com osso comprometido (tipo D4). O protocolo de aplicação consistiu na irradiação dos tecidos mucosos nas faces bucal e palatina, durante 40 segundos em cada lado, com uma dose total de 8 J por sessão. A terapia foi administrada em sessões alternadas durante os primeiros 14 dias após a instalação do implante. Os resultados demonstraram ausência de perda óssea crestal e bom prognóstico clínico após seis meses de acompanhamento, além de aumento da densidade óssea evidenciado por análise tomográfica. A pesquisa reforça que a fotobiomodulação pode acelerar a osseointegração, melhorar a estabilidade do implante e promover a reparação tecidual, destacando a importância da padronização dos parâmetros para maior eficácia clínica.

ZOU *et al.* (2024) conduziram um estudo clínico randomizado avaliando o efeito da terapia a laser de baixo nível na cicatrização dos tecidos moles após a colocação de implantes dentários. O protocolo consistiu na aplicação do laser imediatamente após a cirurgia e nos segundos e terceiros dias subsequentes, sem intervenção no grupo controle. O modo LLLT foi configurado com potência de 1,5 W, frequência de 15 Hz e pulsos de largura 100 microssegundos (μs) (laser pulsado).Os resultados demonstraram que a LLLT promoveu melhora significativa no controle da dor, redução da inflamação e aumento da expressão de VEGF (Fator de Crescimento Endotelial Vascular), fator essencial para a angiogênese e regeneração tecidual, indicando um efeito positivo na cicatrização ao redor do implante e favorecendo a osseointegração.

Desta forma, o estudo reforça o potencial clínico da fotobiomodulação como estratégia complementar para otimizar os resultados em implantodontia.

MAHMOUD *et al.* (2025) conduziram um ensaio clínico randomizado, controlado e simples-cego com 63 pacientes submetidos à colocação de implantes dentários, divididos em três grupos: (1) receberam terapia por ultrassom de baixa intensidade (LIPUS), (2) foram submetidos à terapia com laser de baixa intensidade (LLLT) e (3) constituíram o grupo controle. O protocolo do LIPUS consistiu em sessões realizadas duas vezes por semana durante quatro semanas, enquanto a LLLT, com parâmetros de 850 nm, 200 mW em modo contínuo, totalizando 6 J por sessão, foi aplicada em quatro sessões ao longo de duas semanas após a cirurgia de implante. Os resultados revelaram que o LIPUS foi mais eficaz na manutenção do osso marginal, reduzindo significativamente a perda óssea em comparação à LLLT e ao grupo controle; no entanto, a LLLT também demonstrou preservação óssea marginal superior à do grupo controle, além de apresentar melhores resultados na cicatrização dos tecidos moles. A conclusão do estudo destaca que ambas as terapias apresentam efeitos complementares, sugerindo que sua combinação pode otimizar a osseointegração e a recuperação pós-operatória em pacientes reabilitados com implantes dentários.

4 DISCUSSÃO

Diversos estudos clínicos e experimentais analisaram a influência da fotobiomodulação (PBM) sobre a estabilidade dos implantes dentários, especialmente no período de osseointegração. Resultados positivos foram frequentemente associados ao uso de lasers infravermelhos e vermelhos. Matys *et al.* (2018), por exemplo, utilizaram laser vermelho (635 nm) com 8 J/cm² distribuídos em seis sessões e relataram aumento significativo na estabilidade secundária após quatro semanas, além de elevação da densidade óssea apical e média após 12 semanas, reforçando o papel bioestimulador da PBM nas fases de maturação óssea.

Palled *et al.* (2021), utilizando laser infravermelho com dose de 2 J/cm² em quatro sessões distribuídas até três meses, observaram não apenas maior estabilidade, mas também aumento dos níveis de osteoprotegerina, o que sugere modulação da diferenciação osteoclástica e manutenção da estrutura óssea. De modo semelhante, Mohajerani *et al.* (2020) compararam a ação combinada de laser (830 nm) e LED (632 nm) durante 10 dias consecutivos e observaram aumento significativo dos valores de ISQ já a partir da segunda semana, indicando melhora precoce da estabilidade secundária, elemento essencial para a carga funcional antecipada.

Entretanto, nem todos os resultados convergem para conclusões definitivas. Torkzaban *et al.* (2017), mesmo aplicando 56 J ao longo de sete sessões nas duas primeiras semanas pós-operatórias, não encontraram efeito significativo na estabilidade de implantes instalados em osso de densidade D3 e D4. O estudo, no entanto, sugere tendência de melhora a partir da sexta semana, apontando que os efeitos da PBM podem variar conforme a densidade óssea do leito receptor. Situação semelhante foi relatada por Sampaio *et al.* (2020), que, apesar de aplicar sete sessões de laser 808 nm (2,5 J por ponto), não observaram diferenças estatisticamente significativas na estabilidade entre os lados irradiados e controles. Os autores sugerem que a ausência de efeito pode estar relacionada à resposta individual e ao estágio ósseo no momento da aplicação.

É importante destacar que, em estudos como o de Camolesi *et al.* (2023), a PBM também não aumentou significativamente os valores de ISQ, mas foi eficaz na

redução da inflamação e na melhora da cicatrização dos tecidos moles, o que pode indiretamente favorecer a estabilidade a longo prazo. Em contrapartida, o trabalho de Maranón-Vásquez *et al.* (2019) demonstrou que a aplicação combinada de laser vermelho (660 nm) e infravermelho (808 nm), especialmente com carga tardia, resultou em maior estabilidade de mini-implantes ortodônticos, sugerindo que o momento da carga funcional também influencia os desfechos clínicos da PBM.

Portanto, embora haja consenso parcial sobre o potencial da PBM para melhorar a estabilidade de implantes dentários, os efeitos dependem diretamente dos parâmetros empregados, da densidade óssea local e do cronograma de irradiação adotado. A ausência de padronização limita comparações diretas, mas os dados sugerem que sessões múltiplas com doses entre 4 e 20 J, aplicadas em pontos ao redor do implante, são mais eficazes do que aplicações isoladas.

Além dos efeitos sobre a estabilidade mecânica, a PBM tem se mostrado eficiente em acelerar o reparo ósseo por meio de estímulos celulares e vasculares. Estudos com modelos animais, como os de Massotti *et al.* (2015) e Gomes *et al.* (2014), demonstraram que a densidade de 20 J/cm² aplicada com laser 830 nm promoveu aumento significativo no contato osso-implante (BIC) e na deposição de colágeno, evidenciando uma resposta mais intensa nos grupos irradiados. Esses resultados foram reforçados por Kim *et al.* (2016), que, ao aplicar 6 J diários com laser 808 nm, relataram maior adesão óssea em análises histomorfométricas, embora sem diferença biomecânica significativa em torque de remoção.

Em humanos, Romão *et al.* (2015) mostraram que a aplicação de 15 J distribuídos em cinco pontos ao redor do alvéolo, com laser de 808 nm, promoveu aumento do volume ósseo neoformado e uma arquitetura trabecular mais homogênea ao final de 40 dias. Já Gulati *et al.* (2020) demonstraram que a PBM reduziu a reabsorção óssea crestal até um ano após a instalação, sugerindo efeito protetor da terapia sobre o osso marginal.

Outros efeitos relevantes incluem a modulação inflamatória e a analgesia, como demonstrado por Allende *et al.* (2024), que utilizaram aplicação única com luz combinada (660/808 nm) e observaram redução significativa da dor nas primeiras 24 horas. Resultados semelhantes foram relatados por Yanaguizawa *et al.* (2016), que

detectaram redução dos níveis de IL-8 e aumento de IL-6 no fluido periimplantar, indicando um ambiente favorável à regeneração tecidual. Esses efeitos foram reforçados por Zou *et al.* (2024), que associaram a PBM ao aumento da expressão de VEGF, fator essencial para angiogênese e cicatrização, além da melhora no controle da dor pós-operatória.

Mesmo em estudos onde a estabilidade primária não foi modificada, como o de Kinalski *et al.* (2021), a ausência de reabsorção óssea e a boa evolução clínica sugerem que a PBM pode exercer influência positiva em níveis celulares e microvasculares, promovendo condições ideais para a formação óssea.

Dessa forma, a literatura analisada indica que a PBM atua sinergicamente em diferentes fases do processo reparador, estimulando a osteogênese, a angiogênese e o equilíbrio inflamatório. Tais efeitos podem não se traduzir imediatamente em medidas biomecânicas, mas contribuem de forma significativa para o sucesso da osseointegração no médio e longo prazo.

A análise dos 21 estudos selecionados revela uma ampla diversidade nos protocolos de fotobiomodulação (PBM) aplicados à osseointegração de implantes dentários. Esses protocolos variam significativamente quanto aos comprimentos de onda utilizados, potência e energia por ponto, número de sessões, frequência de aplicação, modo de emissão e tipo de dispositivo (laser ou LED). Essa heterogeneidade reflete a ausência de padronização na literatura e dificulta comparações diretas entre os estudos, embora permita identificar tendências clínicas e experimentais consistentes.

Os comprimentos de onda infravermelhos (808–980 nm) foram os mais frequentemente empregados, devido à sua maior penetração tecidual e afinidade com os cromóforos mitocondriais envolvidos na osseointegração. Estudos como os de Gomes *et al.* (2014), Massotti *et al.* (2015), Romão *et al.* (2015), Kim *et al.* (2016), Sampaio *et al.* (2020), Mohajerani *et al.* (2020), Camolesi *et al.* (2023), Allende *et al.* (2024) e Mahmoud *et al.* (2025) utilizaram lasers de 808 a 830 nm com resultados positivos, incluindo aumento do contato osso-implante, preservação da crista óssea e maior estabilidade secundária. Em contrapartida, comprimentos de onda mais longos, como 940 nm (Torkzaban *et al.*, 2017; Singhania *et al.*, 2024) e 980 nm (Gulati *et al.*,

2020), também demonstraram boa resposta, com preservação óssea crestal e aumento da densidade óssea, sugerindo eficácia mesmo em tecidos com baixa densidade (D3–D4).

O uso combinado de comprimentos de onda foi relatado por Camolesi *et al.* (2023) e Allende *et al.* (2024), que associaram infravermelho (808 nm) com vermelho (630–660 nm). Embora os efeitos sobre a estabilidade não tenham sido significativos, houve redução da inflamação e melhora da cicatrização, especialmente dos tecidos moles. Esse resultado é consistente com o espectro de atuação dos lasers vermelhos, como os usados por Mandic *et al.* (2015), Santos (2020) e Garcez *et al.* (2016), que atuam de forma mais superficial, favorecendo respostas anti-inflamatórias e epiteliais.

O laser pulsado de 1064 nm, utilizado por Palled *et al.* (2021) e Zou *et al.* (2024), representa uma abordagem recente, voltada para estimulação profunda com menor carga térmica. Embora ainda pouco explorada, essa modalidade demonstrou benefícios na estabilidade dos implantes (Palled *et al.*) e na angiogênese (Zou *et al.*), indicando que comprimentos de onda mais longos podem ser eficazes, desde que adequadamente dosados.

A densidade de energia por ponto variou de forma expressiva entre os estudos, indo de valores baixos, como 4 J/cm² (Gulati *et al.*, 2020; Garcez *et al.*, 2016), até doses mais elevadas, como 89 J/cm² (Sampaio *et al.*, 2020) e 66 J/cm² (Kinalski *et al.*, 2021). Em geral, doses entre 4 e 20 J/cm² foram as mais comuns e associadas a efeitos benéficos, especialmente quando repetidas em múltiplas sessões.

Gomes *et al.* (2014) e Massotti *et al.* (2015) aplicaram 7 sessões em dias alternados (0 a 12), com doses de até 20 J/cm², observando aumento significativo do contato osso-implante e da formação de colágeno. De forma semelhante, Kim *et al.* (2016) utilizou 6 J por sessão durante sete dias consecutivos, com melhora da adesão óssea em nível histológico. Já Mohajerani *et al.* (2020) empregou sessões diárias durante 10 dias com laser e LED, resultando em aumento da estabilidade dos implantes, sugerindo que frequência alta no início da cicatrização pode ser crucial para a eficácia clínica.

Por outro lado, estudos com menos sessões ou aplicação única, como os de Allende *et al.* (2024) e Santos (2020), mostraram efeitos mais discretos ou limitados a tecidos moles. Camolesi *et al.* (2023) aplicou duas sessões com dose total de 10 J, e apesar de não haver ganho na estabilidade secundária, houve redução da inflamação. Esses dados indicam que a repetição do estímulo luminoso é um fator determinante, especialmente quando se objetiva o efeito osteoindutor e não apenas analgésico ou anti-inflamatório.

Mandic *et al.* (2015) utilizaram uma abordagem pós-operatória diária durante sete dias com laser vermelho (637 nm), obtendo melhora temporária na estabilidade, mas sem efeito duradouro. Isso sugere que a combinação entre dose, frequência e momento da aplicação deve ser criteriosamente planejada para atingir os diferentes estágios da cicatrização óssea.

No que se refere aos dispositivos, os estudos que utilizaram laser de diodo contínuo, como Gomes *et al.* (2014), Massotti *et al.* (2015), Sampaio *et al.* (2020) e Romão *et al.* (2015), relataram benefícios consistentes na osseointegração, desde que associadas doses adequadas e sessões seriadas. Já os trabalhos que testaram PBM com LED ou em combinação com laser, como Mohajerani *et al.* (2020), obtiveram resultados equivalentes ou superiores, o que reforça que a eficácia pode estar mais associada ao controle da dosimetria e à repetição das aplicações do que exclusivamente ao tipo de fonte luminosa.

Além disso, alguns autores avaliaram efeitos secundários relevantes, como a dor e inflamação. Garcez *et al.* (2016) e Allende *et al.* (2024) evidenciaram redução significativa da dor nas primeiras 24 horas após aplicação única. Yanaguizawa *et al.* (2016) demonstrou que a PBM reduziu a IL-8 e aumentou a IL-6, criando um microambiente mais favorável à osseointegração. Zou *et al.* (2024) complementa essa observação ao demonstrar aumento da expressão de VEGF após três sessões com laser pulsado, ressaltando o papel da PBM na angiogênese precoce.

Em termos de preservação óssea, Gulati *et al.* (2020) e Singhania *et al.* (2024) observaram manutenção da crista óssea e aumento da densidade óssea mesmo em pacientes com osso tipo D4, reforçando o potencial da PBM como terapia protetiva. Mahmoud *et al.* (2025) comparou LLLT com LIPUS e observou que ambas as terapias

reduziram a perda óssea marginal, com o laser mostrando melhor efeito sobre tecidos moles.

Por fim, Jonasson *et al.* (2017) mostrou que a LLLT isolada teve maior efeito do que a combinação com fatores de crescimento (PC), indicando que a PBM pode atuar de forma independente como estímulo regenerativo, e que sua eficácia não é necessariamente potencializada por terapias adjuntas

A análise crítica dos estudos revela uma disparidade significativa entre os protocolos de fotobiomodulação aplicados à osseointegração, o que dificulta a formulação de um consenso clínico. A heterogeneidade metodológica abrange aspectos como comprimentos de onda (variando entre 630 e 1064 nm), doses aplicadas (de 2 J até 20 J por ponto), formas de emissão (contínua ou pulsada), número de sessões (de uma até dez aplicações) e frequência de aplicação (diária, em dias alternados ou espaçada por semanas).

Estudos como os de Gomes *et al.* (2014), Massotti *et al.* (2015), Kim *et al.* (2016) e Mohajerani *et al.* (2020) aplicaram múltiplas sessões ao longo da primeira semana ou quinzena pós-operatória, com resultados positivos em termos de regeneração óssea, estabilidade ou resposta inflamatória. Em contrapartida, estudos com aplicação única ou protocolo reduzido, como os de Santos (2020), Garcez *et al.* (2016) e Allende *et al.* (2024), mostraram benefícios principalmente restritos à analgesia e à cicatrização dos tecidos moles, sem comprovar impacto direto na osseointegração.

Outro fator limitante na comparação dos estudos é a variabilidade nas metodologias de avaliação. Enquanto alguns autores empregaram análise histomorfométrica (e.g., Kim *et al.*, Jonasson *et al.*, Massotti *et al.*), outros basearam-se em medições de estabilidade por frequência de ressonância (ISQ), torque de remoção, análise radiográfica ou até marcadores inflamatórios. A diversidade de métodos compromete a homogeneidade dos resultados e impede uma análise mais objetiva.

Além disso, as diferenças nos modelos biológicos (animais x humanos, mini-implantes x implantes convencionais, osso tipo I a IV) impõem limitações adicionais à extrapolação dos dados. Por exemplo, o bom desempenho da PBM em modelos

animais jovens e saudáveis pode não se repetir em pacientes com comprometimentos sistêmicos, tabagismo, diabetes ou densidade óssea baixa.

A falta de consenso também decorre das dificuldades práticas de padronização clínica. Embora muitos autores apontem a faixa de 4 a 10 J/cm² como ideal para efeitos bioestimulantes (como em Freitas e Hamblin, 2016), os estudos mostram que essa dose pode ser insuficiente se não houver repetição adequada, ou excessiva se aplicada isoladamente sobre tecidos sensíveis, podendo inclusive inibir a atividade celular (Cotomacio *et al.*, 2017).

Outro aspecto crítico é o tempo e a logística clínica. Protocolos que exigem 7 ou mais sessões em curto intervalo, como os de Massotti *et al.* (2015) e Mohajerani *et al.* (2020), apresentam barreiras de adesão tanto por parte do paciente quanto da equipe, especialmente em atendimentos ambulatoriais. Assim, há uma tendência de adaptação dos protocolos para versões simplificadas, como os de Camolesi *et al.* (2023) e Allende *et al.* (2024), que priorizam conforto e viabilidade, ainda que em detrimento da intensidade terapêutica.

Além disso, a escolha entre laser e LED não está isenta de controvérsias. Embora os lasers de diodo sejam preferidos pela maioria dos autores por sua coerência e precisão, o uso de LEDs tem ganhado espaço devido ao baixo custo, fácil manuseio e segurança, como demonstrado por Mohajerani *et al.* (2020).

Por fim, os estudos sugerem que o protocolo ideal pode não ser único, mas sim dependente de variáveis como densidade óssea do leito, fase da cicatrização, presença de carga imediata, características do tecido irradiado e finalidade clínica (anti-inflamatória, osteoindutora, analgésica ou regenerativa). Dessa forma, o avanço na PBM aplicada à implantodontia dependerá da realização de ensaios clínicos controlados e padronizados, com amostras maiores, metodologia robusta e comparações diretas entre protocolos distintos.

Tabela I – Comparação entre os protocolos utilizados nos estudos de referencia

Referência	Comprimento de onda	Potência	Energia por ponto – Densidade de energia	Tempo	Pontos	X	Frequência de Aplicação
Gomes *et al.* (2014)	830 nm	50 mW	G1 – 2,5J G2 – 5J G3 – 10J	G1 – 51 s G2 – 101 s G3 – 201 s	2	7	Dia 0,2,4,6,8,10 e 12
Mandic *et al.* (2015)	637 nm	40 mW	6.26 J/cm² por implante		–	8	7 dias
Massotti *et al.* (2015)	830 nm	50 mW	GE-5 – 2,5J GE-10 – 5J GE-20 – 10J	–	2	7	Dia 0,2,4,6,8,10 e 12
Romão *et al.* (2015)	808 nm	100 mW	3J (infra) – 75 J/cm²	150 segs	5	2	Dia 3 e 7
Garcez *et al.* (2016)	660 nm	40 mW	2,4 J (vermelho) – 4 J/cm²	60 segs	1	3	3 dias
Kim *et al.* (2016)	808 nm	100 mW	Aprox. 6J – não informado	60 segs	–	7	7 dias
Jonasson *et al.* (2017)	780 nm	Não informado	Não informado	Não informado	1	7	Não informado
Torkzaban *et al.* (2017)	940 nm	100 mW	4J (infra) – 14.18 J/cm²	80 segs	2	7	Dia 0,2,4,6,8,10,12
Maranón-Vásquez *et al.* (2019)	808 nm e 660 nm	100 mW	4J (infra) e 2J (vermelho) – 8 / 4 J/cm²	40 segs	2	7	Dia 0,2,4,7,9,11 e 14
Matys *et al.* (2019)	635 nm	100 mW	4J (vermelho) – 8 J/cm²	80 segs	2	6	Dia 0,2,4,7 e 14
Mohajerani *et al.* (2019)	830 nm (laser), 632 nm (LED)	10 mW	Não informado	20 minutos	4	10	10 dias
Santos (2020)	660 nm	100 mW	10.8 J (vermelho) – não informado	60 segs	1	1	Dia 0

Gulati *et al.* (2020)	980 nm	10 mW	1J (infra) – 4 J/cm²	60 segs	6	4	Dia 0,3,7 e 14
Sampaio *et al.* (2020)	808 nm	100 mW	2,5J (infra) – 89 J/cm²	150 segs	5	7	Dia 0,1,2,3,4,7 e 15
Kinaski *et al.* (2021)	808 nm	50 nW	4J (infra) – 66 J/cm²	8 minutos	6	2	Pré-cirurgia / Pós-cirurgia
Palled *et al.* (2021)	1064 nm	60 W (pulsado)	2J (infra) – 7.07 J/cm²	60 segs	–	4	Dia 0; Semanas: 2,6; Mês: 3
Camolesi (2023)	808 nm e 630 nm	100 mW	4J (infra), 2J (vermelho) – 33.3 J/cm²	100 segs	3 (2 infra)	2	Dia 0 e 7
Allende *et al.* (2024)	808 nm e 660 nm	100 mW	4,5J (infra e vermelho) – não informado	225 segs	5	1	Dia 0
Singhania *et al.* (2024)	940 nm	100 mW	4J (infra) – 14.18 J/cm²	80 segs	2	7	Dia 0,2,4,6,8,10,12 e 14
Zou *et al.* (2024)	1064 nm	1,5 W (pulsado)	Não informado – 8 J/cm²	2 minutos	–	3	Dia 0,2 e 3
Mahmoud *et al.* (2025)	850 nm	200 mW	4J (infra) – 24 J/cm²	60 segs	6	4	Dia 0,3,7 e 14

Fonte: Autora 2025

5 CONCLUSÃO

A fotobiomodulação (PBM) demonstra ser uma terapia promissora e segura para a otimização da osseointegração em implantes dentários, atuando de forma multifatorial na estimulação celular, modulação inflamatória, angiogênese e cicatrização dos tecidos moles e duros. Os 21 estudos analisados evidenciam que, embora haja variações nos protocolos, os comprimentos de onda na faixa do infravermelho próximo (808–830 nm) são os mais eficazes para promover melhorias na estabilidade secundária dos implantes e no reparo ósseo.

Entretanto, a heterogeneidade dos parâmetros físicos — incluindo potência, densidade de energia, número de sessões, frequência e tipo de fonte luminosa — dificulta a padronização clínica e a consolidação de um protocolo único e universalmente recomendado. Protocolos com múltiplas sessões durante as primeiras semanas após a instalação dos implantes tendem a apresentar resultados superiores em termos de regeneração óssea e estabilidade, enquanto aplicações isoladas são mais eficazes para controle da dor e redução da inflamação.

Além disso, fatores como a densidade óssea local, o momento da aplicação e a presença de carga funcional influenciam diretamente os resultados da PBM, indicando a necessidade de protocolos individualizados e ajustados às condições clínicas específicas do paciente.

Diante disso, destaca-se a importância de futuras pesquisas que adotem metodologias padronizadas, com amostras maiores e análise comparativa direta de diferentes parâmetros, a fim de esclarecer os mecanismos de ação e otimizar os protocolos terapêuticos. A integração segura e responsável da fotobiomodulação na implantodontia pode ampliar as perspectivas para reabilitações mais rápidas, eficazes e com maior previsibilidade clínica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLENDE, J. B. *et al. Effectiveness of Low-Level Laser Therapy in reducing postoperative pain after dental implant surgery: A randomized clinical trial. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 49, 2024.

BRÅNEMARK, Per-Ingvar; ZARB, George A.; ALBREKTSSON, Tomas. *Tissue-integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry*. Chicago: Quintessence Publishing Co., 1985.

CAMOLESI, G. C. V. *et al. Photobiomodulation in dental implant stability and post-surgical healing and inflammation. A randomized double-blind study. Clinical Oral Implants Research*, v. 34, p. 137–147, 2023.

CONSELHO FEDERAL DE ODONTOLOGIA. Resolução CFO-82, de 25 de setembro de 2008. *Reconhece e regulamenta o uso pelo cirurgião-dentista de práticas integrativas e complementares à saúde bucal***.** Rio de Janeiro, 2008. 15 p. Disponível em: <www.cfo.org.br>.

FREITAS, Lucas Freitas; HAMBLIN, Michael R. *Proposed mechanisms of photobiomodulation or low-level light therapy. IEEE Journal of Selected Topics in*

FREITAS, Patrícia M. de; SIMÕES, Alyne (eds.). *Lasers in Dentistry: Guide for Clinical Practice.* 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2015. 360 p.

GOMES, F. V. *et al. Low-level laser therapy improves peri-implant bone formation: resonance frequency, electron microscopy, and stereology findings in a rabbit model. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2014. DOI: 10.1016/j.ijom.2014.09.010.

GULATI, P. *et al.Effect of low level laser therapy on crestal bone levels around dental implants: a randomized controlled clinical trial. Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2023.

JONASSON, Thiago Hoffman *et al. Effects of low-level laser therapy and platelet concentrate on bone repair: Histological, histomorphometric, immunohistochemical, and radiographic study*. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, [S.l.], v. 45, n. 3, p. 348-359, 2017. DOI: 10.1016/j.jcms.2017.08.008.

KIM, Jong-Ryoul; KIM, Sung-Hee; KIM, In-Ryoung; PARK, Bong-Soo; KIM, Yong-Deok. *Low-level laser therapy affects osseointegration in titanium implants: resonance frequency, removal torque, and histomorphometric analysis in rabbits. Journal of Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, v. 42, n. 1, p. 2-8, 2016. DOI: 10.5125/jkaoms.2016.42.1.2.

KINALSKI, Mateus de Azevedo; AGOSTINI, Bernardo Antonio; BERGOLI, Cesar Dalmolin; SANTOS, Mateus Bertolini Fernandes dos. *Influence of low-level laser therapy on implant stability in implants placed in healed sites: a randomized controlled trial. International Journal of Implant Dentistry*, v. 7, p. 1-7, 2021. DOI: https://doi.org/10.1186/s40729-021-00323-0.

KUO, Paul; CLAYMAN, Lewis (ed.). *Lasers in Maxillofacial Surgery and Dentistry*. 1. ed.: Thieme, 1997. 168 p.

LAGO, Andréa Dias Neves*. Laser na odontologia: conceitos e aplicações clínicas.* São Luís: EDUFMA, 2021. 315 p.

MAHMOUD, Esraa S. *et al. Low intensity pulsed ultrasound versus low-level laser therapy on peri-implant marginal bone preservation and soft tissue healing following dental implant surgery: a randomized controlled trial. Head & Face Medicine*, v. 21, p. 29, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s13005-025-00502-z.

MANDIĆ, Borka; LAZIĆ, Zoran; MARKOVIĆ, Aleksa; MANDIĆ, Bojan; MANDIĆ, Miška; DJINIĆ, Ana; MILIČIĆ, Biljana*. Influence of postoperative low-level laser therapy on the osseointegration of self-tapping implants in the posterior maxilla: A 6-week split-mouth clinical study*. *Vojnosanitetski pregled*, Belgrade, v. 72, n. 3, p. 233–240, 2015. DOI: 10.2298/VSP131202075M. Disponível em: [link do periódico].

MARANÓN-VÁSQUEZ, Guido A. *et al. Effect of photobiomodulation on the stability and displacement of orthodontic mini-implants submitted to immediate and delayed loading: a clinical study***.** *Lasers in Medical Science*, London, v. 34, n. 11, p. 2143–2153, 2019. DOI: 10.1007/s10103-019-02818-0. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10103-019-02818-0.

MASSOTTI, Fabrício Poletto; GOMES, Fernando Vacilotto; MAYER, Luciano; OLIVEIRA, Marília Gerhardt de; BARALDI, Carlos Eduardo; PONZONI, Deise; PURICELLI, Edela. *Histomorphometric Assessment of the Influence of Low-Level Laser Therapy on Peri-Implant Tissue Healing in the Rabbit Mandible. Photomedicine and Laser Surgery,* v. 33, n. 3, p. 123–128, 2015. DOI: 10.1089/pho.2014.3792.

MATYS, J. *et al. Photobiomodulation by a 635 nm diode laser on peri-implant bone: Implant stability and bone density analysis—Randomized clinical trial. BioMed Research International*, v. 2018, p. 1-9, 2018. Disponível em: https://www.hindawi.com/journals/bmri/2018/9475801/.

MOHAJERANI, Hassan; SALEHI, Abolfazl Mohammad; TABEIE, Faraj; SHAFIEI, Shervin; TABRIZI, Reza. *Can Low-Level Laser and Light-Emitting Diode Enhance the Stability of Dental Implants*? *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*, v. 19, n. 2, p. 302–306, abr./jun. 2020. DOI: 10.1007/s12663-019-01210-3.

MOREIRA, Francine do Couto Lima. *Manual prático para uso dos lasers na odontologia.* 1. ed. Goiânia: [s.n.], 2020. 43 p.

PALLED, Praveen B.; MUNDATHIKODE, Sadanand; BHAT, K. M. *Assessment of the Healing of Dental Implant Surgical Site: Effect of Low-Level Laser Therapy on Implant Stability and Osteoprotegerin Levels. Journal of Oral Implantology*, v. 47, n. 3, p. 230-235, 2021. DOI: https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-20-00120.

ROMÃO, M. M. A.; MARQUES, M. M.; CORTES, A. R. G.; HORLIANA, A. C. R. T.; MOREIRA, M. S.; LASCALA, C. A*. Micro-computed tomography and histomorphometric analysis of human alveolar bone repair induced by laser*

phototherapy: a pilot study. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, [S.l.], v. xxx, p. xxx–xxx, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2015.08.989.

SAMPAIO, Rui Manuel Freire. Avaliação da estabilidade de implantes osseointegrados em alvéolos, com e sem a aplicação da Terapia de Fotobiomodulação, por meio de Osstell® ISQ: ensaio clínico, duplo cego e randomizado. 2020. 83 f. Tese (Doutorado em Ciências Odontológicas) – Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Versão corrigida.

SANTOS, Ana Flávia Piquera. *Avaliação do processo de reparo alveolar em ratos utilizando β-tricálcio-fosfato associado ou não ao LASER de baixa potência*. 2020. 70 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araçatuba, 2020.

SINGHANIA, A.; BHOYAR, A.; DUBEY, S. A.; JAISWAL, T. Effect of *photobiomodulation on crestal bone density around dental implants: a case report. Cureus*, v. 16, n. 6, p. e63546, 2024. DOI: 10.7759/cureus.63546.

TORKZABAN, Parviz; KASRAEI, Shahin; TORABI, Sara; FARHADIAN, Maryam. *Low-level laser therapy with 940 nm diode laser on stability of dental implants: a randomized controlled clinical trial*. *Lasers in Medical Science*, v. 32, n. 1, p. xx–xx, 2017.

YANAGUIZAWA, M. S.; SUZUKI, S. S.; *et al. Effects of Low-Level Laser Therapy in Orthodontic patients on immediate inflammatory response after mini-implants insertion: a preliminary report. Photomedicine and Laser Surgery*, v. 34, n. 11, p. 477–483, 2016. doi:10.1089/pho.2016.4124.

ZOU, Qiaoru *et al.* Low-level laser therapy on soft tissue healing after implantation: a randomized controlled trial. *BMC Oral Health*, v. 24, p. 1477, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12903-024-05258-7.