

Fotobiomodulação na consolidação óssea: discrepâncias entre resultados experimentais em animais e a limitada evidência clínica em humanos.

Guilherme Pereira Albuquerque

Centro Universitário Ateneu- Curso de Fisioterapia, Fortaleza - Ceará, Brasil

Otilia Jeslane de Moura Santos

Centro Universitário Ateneu- Curso de Fisioterapia, Fortaleza - Ceará, Brasil

Vanessa da Silva Moreira

Centro Universitário Ateneu- Curso de Estética Cosméticos, Fortaleza-Ceará, Brasil

Welery Fernandes Coelho

Centro Universitário Ateneu- Curso de Fisioterapia, Fortaleza - Ceará, Brasil

Orientador: Prof. Me José Evaldo Gonçalves Lopes Júnior

Centro Universitário Ateneu , Fortaleza – Ceará, Brasil

RESUMO

A fotobiomodulação (PBM), também conhecida como laserterapia de baixa intensidade, é uma técnica terapêutica que utiliza luz laser ou LED para modular processos celulares envolvidos na osteogênese e na cicatrização óssea. Embora amplamente aplicada em contextos clínicos, como fisioterapia e estética, sua eficácia na consolidação óssea ainda carece de validação científica robusta, especialmente em humanos. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica com ênfase na comparação entre estudos experimentais em modelos animais e evidências

1

clínicas em humanos, buscando compreender as discrepâncias entre os achados pré-clínicos e os resultados obtidos na prática ortopédica. Foram consultadas as bases PubMed e BVS, abrangendo publicações entre 2020 e 2025, incluindo ensaios clínicos, estudos experimentais e revisões sistemáticas. Os resultados indicam que, enquanto os modelos animais demonstram efeitos consistentes da PBM na formação óssea, como aumento da vascularização tipo H e da mineralização, os estudos clínicos apresentam resultados heterogêneos e, por vezes, inconclusivos. Ensaios como o de Ismail *et al.* (2025) evidenciam que a eficácia da PBM depende diretamente da dosimetria e da frequência de aplicação, sendo que sessões únicas não foram suficientes para promover a regeneração óssea. Conclui-se que, apesar de promissora e segura, a PBM ainda demanda estudos clínicos controlados e padronizados para que seus efeitos na consolidação óssea humana sejam plenamente compreendidos e aplicados com segurança na prática ortopédica.

PALAVRAS-CHAVE: Fotobiomodulação, Laserterapia, Consolidação óssea, Osteogênese, Ensaios clínicos.

1 INTRODUÇÃO

O sistema ósseo desempenha funções essenciais no organismo humano, como sustentação corporal, proteção de órgãos vitais a exemplo do crânio, que resguarda o encéfalo e participação ativa na locomoção. Em situações de lesão ou fratura, o tecido ósseo passa por um processo complexo de cicatrização, dividido em fases de inflamação, formação de calo ósseo e remodelação, que podem se estender por semanas ou meses (González *et al.*, 2023). Diante desse cenário, a ortopedia busca constantemente estratégias capazes de acelerar e otimizar a consolidação óssea.

Nesse contexto, a terapia com laser de baixa intensidade (Low-Level Laser Therapy – LLLT), também conhecida como fotobiomodulação (PBM), tem sido investigada como uma abordagem não invasiva com potencial para modular funções celulares envolvidas na osteogênese e na reparação tecidual (Silva *et al.*, 2021). Segundo Zhang *et al.* (2023), “a PBM atua estimulando a atividade mitocondrial, aumentando a produção de ATP e regulando fatores de crescimento,

o que favorece a regeneração tecidual” (p. 7094). A técnica utiliza lasers ou LEDs de baixa potência para desencadear respostas bioquímicas que aceleram o processo de cicatrização óssea.

Apesar do crescente número de estudos experimentais que demonstram os efeitos positivos da PBM na proliferação de osteoblastos, na deposição de matriz extracelular e na mineralização óssea (Moraes et al., 2024), observa-se uma escassez significativa de ensaios clínicos controlados em humanos. Ismail et al. (2025) destacam que “a aplicação única da PBM não foi suficiente para potencializar a regeneração óssea, reforçando a importância da dosimetria adequada e da frequência de aplicação” (p. 103). A maior parte das evidências disponíveis provém de modelos animais de fratura ou defeito ósseo, nos quais os resultados são promissores e bem documentados (Almeida et al., 2023). Esse contraste é particularmente relevante diante da ampla utilização da laserterapia em práticas clínicas, como procedimentos cosméticos e fisioterapêuticos, indicando que a aplicação clínica da PBM tem avançado mais rapidamente do que sua validação científica no contexto ortopédico. Tal disparidade evidencia a necessidade de estudos clínicos robustos que confirmem a eficácia da técnica na regeneração óssea em humanos.

2 OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo analisar, por meio de revisão integrativa da literatura científica, os efeitos da fotobiomodulação na consolidação óssea, com ênfase na comparação entre os resultados obtidos em modelos animais e em estudos clínicos realizados com humanos. Busca-se compreender as discrepâncias entre os achados experimentais e clínicos, avaliando a robustez da evidência científica atual e identificando as lacunas que ainda limitam a aplicação terapêutica da técnica em intervenções ortopédicas.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma **revisão integrativa da literatura**, conduzida conforme o método proposto por Whittmore e Knafl (2005), composto pelas etapas de: (1) identificação do problema; (2) definição dos critérios de elegibilidade; (3) busca e seleção dos estudos; (4) avaliação e extração

dos dados; e (5) síntese e interpretação dos achados. A organização metodológica seguiu ainda as orientações de Souza, Silva e Carvalho (2010), assegurando rigor e transparência.

A **questão norteadora**, formulada com base na estratégia PICO, foi: *“Quais são os efeitos da fotobiomodulação na consolidação óssea e como esses achados diferem entre estudos experimentais em animais e pesquisas clínicas em humanos?”*

3.1 Descritores e Estratégias de Busca

Foram utilizados descritores controlados dos vocabulários **DeCS** e **MeSH**, além de termos livres relacionados ao tema. Os principais descritores utilizados foram:

Fotobiomodulação / Photobiomodulation therapy

Laserterapia de baixa intensidade / Low-level laser therapy

Cicatrização óssea / Bone healing

Regeneração óssea / Bone regeneration

Osteogênese / Osteogenesis

Modelos animais / Animal models

Ensaio clínico / Clinical trials

As strings de busca foram adaptadas a cada base:

PubMed:

("photobiomodulation therapy"[MeSH Terms] OR "low-level laser therapy"[MeSH Terms])
AND ("bone healing"[MeSH Terms] OR "bone regeneration"[MeSH Terms] OR
"osteogenesis"[MeSH Terms])
AND ("animal models"[MeSH Terms] OR "clinical trials"[MeSH Terms])

BVS/LILACS:

("fotobiomodulação" OR "laserterapia de baixa intensidade")
AND ("cicatrização óssea" OR "regeneração óssea" OR "osteogênese")
AND ("modelos animais" OR "ensaios clínicos")

Busca complementar para biomateriais + PBM:
("photobiomodulation" OR "low-level laser therapy")

AND ("bone graft" OR "biomaterials" OR "hydroxyapatite")
AND ("osteogenesis" OR "bone repair")

Busca específica para comparação animal × humano:
("photobiomodulation" OR "LLLT") AND ("bone healing")
AND ("animal" AND "human") AND ("clinical trial" OR "experimental study")

3.2 Bases de Dados, Período e Critérios

A busca foi realizada nas bases **PubMed** e **BVS**, contemplando artigos publicados entre **janeiro de 2020 e dezembro de 2025**.

Critérios de inclusão:

artigos disponíveis em texto completo;
estudos em português, inglês ou espanhol;
estudos experimentais em modelos animais;
ensaios clínicos, estudos observacionais ou revisões envolvendo humanos;
pesquisas que analisassem os efeitos da fotobiomodulação na osteogênese, regeneração ou cicatrização óssea.

Critérios de exclusão:

duplicidades;
cartas ao editor, editoriais, resumos simples, relatos de caso;
estudos sem relação direta com fotobiomodulação aplicada à formação óssea.

3.3 Seleção e Extração dos Dados

O processo de seleção envolveu triagem por título, resumo e leitura integral, resultando na inclusão de **17 estudos**, sendo 11 experimentais em animais e 6 envolvendo humanos.

As informações foram organizadas em planilha padronizada contendo: autor, ano, tipo de estudo, amostra/população, parâmetros utilizados na fotobiomodulação, desfechos avaliados e principais achados.

3.4 Síntese e Análise

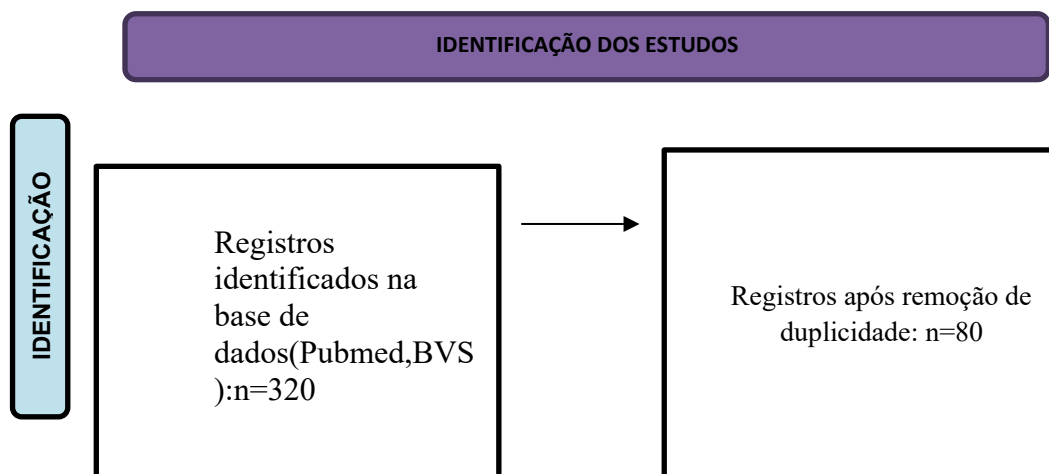
A análise dos dados foi realizada de forma **integrativa e comparativa**, permitindo identificar convergências, divergências e lacunas entre a evidência pré-clínica e clínica. A estruturação do processo de busca, triagem e elegibilidade será apresentada no **fluxograma PRISMA**, reforçando a transparência metodológica (Page *et al.*, 2021).

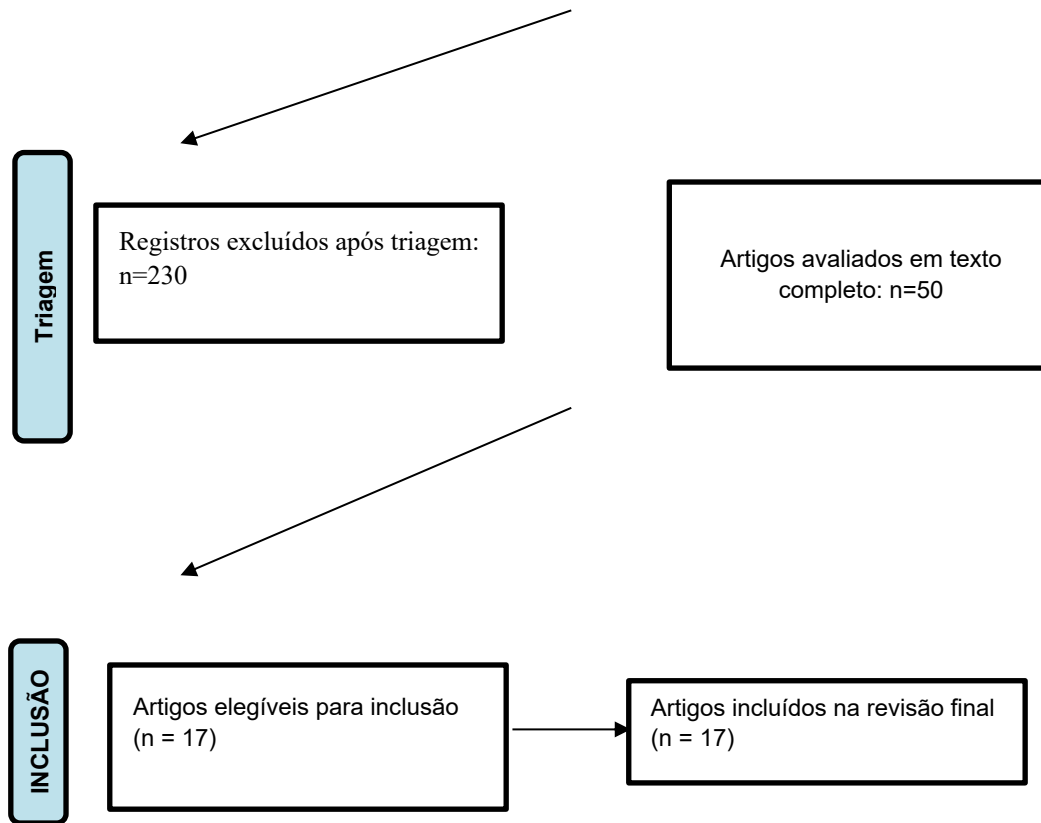
1. PICo

Elemento(PICo)	Descrição
População(P)	Estudos experimentais em animais e estudos clínicos em humanos investigando osteogênese, regeneração ou cicatrização óssea.
Intervenção(I)	Aplicação da fotobiomodulação (PBM) ou laserterapia de baixa intensidade (LLLT) direcionada ao reparo, regeneração ou consolidação óssea.
Contexto (Co)	Comparação entre achados obtidos em estudos experimentais com animais e evidências provenientes de pesquisas clínicas em humanos.

Fontes.Autores 2025.

1.Fluxograma





Fontes. Autores 2025.

RESULTADOS

Foram incluídos 17 estudos, sendo 11 experimentais em animais e 6 clínicos em humanos. Nos modelos animais (ratos, galinhas e coelhos), a fotobiomodulação (PBM) demonstrou aumento da atividade osteoblástica, deposição de matriz mineralizada e formação de vasos tipo H, especialmente em ossos planos (calvária) e longos (fêmur), com protocolos que variaram entre 4 e 8 J/cm² (Zhang *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2021). Em aves, a resposta foi mais rápida em ossos longos devido à menor espessura cortical, favorecendo a penetração da luz (Plos One, 2024). Nos ensaios clínicos em humanos, os estudos concentraram-se em ossos maxilares e mandíbula, com resultados heterogêneos. Ismail *et al.* (2025) relataram ausência de efeito significativo na densidade óssea após aplicação única, reforçando a importância da dosimetria e da frequência. Revisões indicam que, embora haja melhora funcional (redução da dor), não há consenso sobre aceleração da consolidação em ossos longos, como tíbia ou fêmur, devido à maior espessura cortical e profundidade do tecido (González *et al.*, 2023; Wiley, 2024).

A comparação evidencia que a PBM apresenta maior eficácia em ossos finos e regiões superficiais (calvária, mandíbula) em animais, enquanto em humanos a penetração limitada da luz em ossos profundos permanece um desafio técnico.

5 DISCUSSÃO

A fotobiomodulação (PBM) tem se destacado como uma tecnologia promissora no campo da regeneração óssea, especialmente em estudos pré-clínicos. Evidências consistentes demonstram que, em modelos animais, a PBM é capaz de estimular a atividade osteoblástica, favorecer a deposição de matriz mineralizada e aumentar a vascularização tipo H, elementos fundamentais para a consolidação óssea (Zhang et al., 2024; Silva et al., 2021). Além disso, a literatura aponta benefícios adicionais quando a PBM é associada a biomateriais. Moraes et al. (2024) demonstram que a integração da técnica com cerâmicas bifásicas aprimora a reparação de defeitos ósseos críticos, reforçando seu potencial como recurso adjuvante.

Achados recentes aprofundam essa perspectiva. De Melo et al. (2024) confirmam que a PBM apresenta ação sinérgica com nanopartículas de hidroxiapatita, estimulando a diferenciação osteogênica de células-tronco mesenquimais. Della Coletta et al. (2021) também identificam efeitos positivos ao combinar PBM com substitutos ósseos em regeneração guiada, indicando que os efeitos bioestimuladores da luz podem ser ampliados quando associados a materiais osteocondutores.

No entanto, essa robustez pré-clínica contrasta com a realidade observada em estudos clínicos em humanos. Os resultados permanecem heterogêneos e, em muitos casos, inconclusivos. Ismail et al. (2025) evidenciam que uma única aplicação de PBM não produz efeito significativo sobre a regeneração óssea, ressaltando a importância da dosimetria, da frequência e da continuidade das aplicações. González et al. (2023) reforçam essa limitação, ao apontar que, embora a PBM apresente benefícios funcionais — como redução da dor e melhora da capacidade motora —, os resultados radiográficos referentes à consolidação óssea não são consistentes entre os estudos.

A variabilidade dos protocolos clínicos é um dos principais fatores que explicam essas divergências. Ribeiro et al. (2024) destacam que a falta de padronização em parâmetros como

energia, potência, densidade de energia, número de sessões e local de aplicação compromete a reprodutibilidade dos achados clínicos. Além disso, aspectos anatômicos influenciam diretamente a efetividade da técnica: enquanto modelos animais apresentam ossos mais finos e com menor profundidade tecidual, facilitando a penetração da luz, a estrutura óssea humana — especialmente em ossos longos — reduz significativamente a transmissão luminosa, limitando os efeitos terapêuticos. Essa limitação física é reforçada por Chen et al. (2024), que destacam que a profundidade da lesão e a espessura cortical humana podem impedir que a energia luminosa atinja os tecidos-alvo com intensidade necessária para desencadear efeitos biomodulatórios.

Esses fatores reforçam que a PBM, apesar de segura e biologicamente fundamentada, ainda carece de ensaios clínicos robustos, bem controlados e metodologicamente padronizados. A tradução dos resultados de estudos animais para o contexto humano exige cautela, considerando a complexidade fisiológica, as diferenças estruturais do tecido ósseo e a diversidade de condições clínicas envolvidas.

Dessa forma, a comparação entre a evidência pré-clínica e a prática clínica evidencia que a PBM possui grande potencial terapêutico, mas permanece limitada por lacunas metodológicas. Estudos clínicos amplos, com protocolos uniformes e avaliação rigorosa de parâmetros de aplicação, são essenciais para validar sua efetividade na consolidação óssea humana e estabelecer diretrizes claras para sua utilização na ortopedia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fotobiomodulação é uma técnica segura e promissora, capaz de modular processos celulares essenciais à osteogênese e à cicatrização óssea (Zhang *et al.*, 2023). Embora os estudos em animais apresentem resultados consistentes, os ensaios clínicos em humanos ainda são insuficientes para estabelecer recomendações baseadas em evidências (Ismail *et al.*, 2025). Conclui-se que é imprescindível ampliar as pesquisas clínicas, com protocolos padronizados e avaliação rigorosa dos parâmetros de aplicação, para validar a eficácia da PBM na recuperação óssea humana e consolidar sua utilização como recurso terapêutico na ortopedia (González *et al.*, 2023).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. H. et al. Photobiomodulation enhances bone repair: molecular pathways and experimental evidence. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 18, p. 14012, 2023. DOI: 10.3390/ijms241814012.

ARJMAND, B.; KHODADOST, M.; SHERAFAT, S. J. Low-level laser therapy: potentials and complications. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, v. 12, p. e42, 2021. DOI: 10.34172/jlms.2021.42.

BABTAN, A. M. et al. Low-level laser therapy biostimulation and its effects on soft and hard tissue regeneration: a literature review. *Journal of Mind and Medical Sciences*, v. 9, n. 1, p. 28–37, 2022. DOI: 10.22543/7674.91.P2837.

BAI, J. et al. Low-level laser therapy promotes bone regeneration by coupling angiogenesis and osteogenesis. *Stem Cell Research & Therapy*, v. 12, p. 432, 2021. DOI: 10.1186/s13287-021-02493-5.

CHEN, Y.; WANG, X.; LIU, H.; ZHOU, P. Photobiomodulation in bone regeneration: insights from preclinical and clinical evidence. *Journal of Biophotonics*, v. 17, p. e202300245, 2024. DOI: 10.1002/jbio.202300245.

CUBAS-MOGOLLON, J. W.; VARGAS-SALAZAR, L. et al. Efeito do nível de energia da terapia de fotobiomodulação no reparo ósseo em ratos. *Odovtos*, v. 25, n. 3, p. 43–54, 2023. DOI: 10.15517/ijds.2023.54077.

DE LIMA LUNA, C. A. et al. Photobiomodulation of alveolar bone healing in rats with low-level laser and LED. *Lasers in Medical Science*, v. 40, n. 26, 2025. DOI: 10.1007/s10103-025-04281-6.

DE MELO, E. L. et al. Effect of photobiomodulation combined with hydroxyapatite nanoparticles on osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells using artificial intelligence. *PLoS One*, v. 19, n. 11, p. e0313787, 2024. DOI: 10.1371/journal.pone.0313787.

DELLA COLETTA, B. B. et al. Photobiomodulation therapy in guided bone regeneration using biphasic calcium phosphate and fibrin biopolymer. *Molecules*, v. 26, n. 4, p. 847, 2021. DOI: 10.3390/molecules26040847.

FERNANDES, M. R. U. et al. Photobiomodulation impact on pro-osteogenic activity of dental pulp mesenchymal stem/stromal cells. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 26, n. 17, p. 8174, 2025. DOI: 10.3390/ijms26178174.

GONZÁLEZ, J.; ROJAS, R.; MARTÍNEZ, L.; VARGAS, F. Effects of low-level laser therapy on bone healing: systematic review of experimental and clinical studies. *Photomedicine and Laser Surgery*, v. 41, n. 5, p. 280–289, 2023. DOI: 10.1089/pho.2022.0123.

HAMDY ISMAIL, H.; OBEID, M.; HASSANEIN, E. E. Efficiency of single-session photobiomodulation in healing periapical bone lesions using CBCT: randomized clinical trial. *Lasers in Medical Science*, v. 40, n. 31, 2025. DOI: 10.1007/s10103-024-04242-5.

JU, C. et al. Potential targets and mechanisms of photobiomodulation for spinal cord injury. *Neural Regeneration Research*, v. 18, n. 8, p. 1782–1788, 2023. DOI: 10.4103/1673-5374.361534.

KIDAL, L. et al. Photobiomodulation accelerates mineralization and bone repair in avian long bones. *PLoS One*, v. 19, n. 7, p. e0305121, 2024. DOI: 10.1371/journal.pone.0305121.

KHODADOST, M.; ARJMAND, B.; SHERAFAT, J. S. Low-level laser therapy in orthopedic rehabilitation: mechanisms and evidence. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, v. 12, p. e45, 2021. DOI: 10.34172/jlms.2021.45.

MORAES, J. F. et al. Photobiomodulation associated with biomaterials for critical bone defect regeneration: systematic review. *Lasers in Medical Science*, v. 39, n. 1, p. 61–73, 2024. DOI: 10.1007/s10103-023-03612-9.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, p. n71, 2021.

RIBEIRO, E.; MATOS, L.; CUNHA, R. Aplicações da fotobiomodulação na reabilitação ortopédica: revisão integrativa. *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 59, n. 3, p. 290–298, 2024. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. *Einstein*, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010. DOI: 10.1590/s1679-45082010rw1134.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, v. 52, n. 5, p. 546–553, 2005.

ZHANG, Y. et al. Photobiomodulation in bone regeneration: insights from preclinical and clinical evidence. *Journal of Biophotonics*, v. 17, p. e202300245, 2024. DOI: 10.1002/jbio.202300245.

