



ISSN 2674-8169



Latindex



DOI



Enxerto ósseo liofilizado versus biomateriais sintéticos e xenógenos uma abordagem comparativa na cirurgia oral atual

Ana Carolina Bragança da Silva Rocha, Ana Cleide do Nascimento Santos, Célio Augusto Pimentel Arcanjo, Pietra Melo Silva, Eduardo Guimarães Moreira Mangolin, Rogério Jorqueira dos Reis, André Luiz Berbel de Souza, Rodrigo Mendes Ferreira Gironde, Eliane Kátia de Lima, Marcos Vinicius Sousa Almeida, Renato Brito da Silva, Rodney Capp Pallotta



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n4p1015-1026>

Artigo recebido em 22 Março e publicado em 22 de Abril de 2026

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

A reconstrução de defeitos ósseos na região maxilofacial constitui um desafio relevante na cirurgia oral contemporânea, especialmente diante de perdas ósseas decorrentes de extrações dentárias, traumas e doenças periodontais. Nesse cenário, os enxertos ósseos e substitutos biomateriais assumem papel fundamental para viabilizar a reabilitação com implantes dentários. O presente estudo tem como objetivo avaliar comparativamente os enxertos ósseos liofilizados, biomateriais sintéticos e xenógenos, considerando suas propriedades biológicas, taxas de reabsorção, indicações clínicas e influência na regeneração óssea. Trata-se de uma revisão de literatura de caráter descritivo, com abordagem qualitativa, realizada a partir de buscas nas bases PubMed, SciELO, ScienceDirect e Google Scholar, contemplando estudos publicados entre 2021 e 2025. Os resultados evidenciam que os enxertos liofilizados apresentam boa disponibilidade e ausência de morbidade doadora, porém menor potencial osteoindutor. Os biomateriais sintéticos destacam-se pela biocompatibilidade e controle da reabsorção, enquanto os xenógenos oferecem maior estabilidade volumétrica, embora com reabsorção lenta. Observa-se ainda que fatores sistêmicos e a técnica cirúrgica influenciam significativamente os desfechos clínicos. Conclui-se que não há um biomaterial ideal universal, sendo a escolha dependente das características clínicas individuais e do planejamento terapêutico, visando maior previsibilidade e sucesso na regeneração óssea em implantodontia.

Palavras-chave: Regeneração Óssea; Biomateriais; Enxerto Ósseo; Implantes Dentários; Osseointegração; Engenharia Tecidual.

Lyophilized bone graft versus synthetic and xenogeneic biomaterials: a comparative approach in oral surgery

ABSTRACT

The reconstruction of bone defects in the maxillofacial region represents a significant challenge in contemporary oral surgery, particularly in cases of bone loss resulting from tooth extractions, trauma, and periodontal diseases. In this context, bone grafts and biomaterial substitutes play a crucial role in enabling rehabilitation with dental implants. This study aims to comparatively evaluate lyophilized bone grafts, synthetic biomaterials, and xenogeneic materials, considering their biological properties, resorption rates, clinical indications, and influence on bone regeneration. This is a descriptive literature review with a qualitative approach, based on searches conducted in PubMed, SciELO, ScienceDirect, and Google Scholar, including studies published between 2021 and 2025. The findings indicate that lyophilized grafts offer good availability and eliminate donor site morbidity but present lower osteoinductive potential. Synthetic biomaterials stand out for their biocompatibility and controlled resorption, while xenogeneic materials provide superior volume stability, although with slower resorption rates. Additionally, systemic factors and surgical technique significantly influence clinical outcomes. It is concluded that there is no universally ideal biomaterial, and the choice must be individualized based on clinical conditions and treatment planning, aiming for greater predictability and success in bone regeneration in implant dentistry.

Keywords: Bone Regeneration; Biomaterials; Bone Grafting; Dental Implants; Osseointegration; Tissue Engineering.

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



INTRODUÇÃO

A reconstrução de defeitos ósseos na região maxilofacial representa um dos principais desafios na cirurgia oral contemporânea, especialmente em casos de reabsorção óssea decorrente de perdas dentárias, trauma ou patologias periodontais. Nesse contexto, o uso de enxertos ósseos tornou-se essencial para viabilizar procedimentos como implantes dentários, uma vez que o sucesso da osseointegração depende diretamente da qualidade e volume do tecido ósseo disponível (Ferraz, 2023).

Tradicionalmente, o enxerto autógeno é considerado o padrão-ouro devido às suas propriedades osteogênicas, osteoindutoras e osteocondutoras. Entretanto, limitações como morbidade da área doadora, disponibilidade limitada e aumento do tempo cirúrgico impulsionaram o desenvolvimento de biomateriais alternativos, incluindo enxertos alógenos, xenógenos e sintéticos (Baldwin *et al.*, 2021).

Os enxertos ósseos liofilizados, classificados como alógenos, são derivados de doadores humanos e submetidos a processos de desmineralização e esterilização, tornando-se amplamente utilizados devido à sua disponibilidade e eliminação da necessidade de um segundo sítio cirúrgico. Esses materiais atuam principalmente como arcabouço para neoformação óssea, embora apresentem menor potencial osteoindutor em comparação ao enxerto autógeno (Howell *et al.*, 2025).

Os substitutos ósseos sintéticos têm se destacado como alternativas promissoras na regeneração tecidual, especialmente na área da odontologia e implantodontia, devido à sua biocompatibilidade, disponibilidade ilimitada e ausência de riscos imunológicos associados a enxertos autógenos ou alógenos. Esses biomateriais, geralmente compostos por fosfatos de cálcio, como hidroxiapatita e fosfato tricálcico, apresentam propriedades osteocondutoras que favorecem a formação de novo tecido ósseo, além de permitirem diferentes taxas de reabsorção conforme sua composição e estrutura. (FERREIRA *et al.*, 2023).

Por outro lado, os biomateriais xenógenos, geralmente de origem bovina ou suína, apresentam composição semelhante à matriz mineral humana, promovendo excelente manutenção de volume ósseo e estabilidade estrutural ao longo do tempo, sendo amplamente utilizados em procedimentos de levantamento de seio maxilar e preservação alveolar (Inchingolo *et al.*, 2025).

O objetivo deste estudo é avaliar comparativamente a eficácia dos enxertos ósseos liofilizados, biomateriais sintéticos e xenógenos na regeneração óssea em cirurgia oral, por meio de uma revisão de literatura, considerando suas propriedades biológicas, taxas de reabsorção, indicações clínicas e influência nos resultados da osseointegração em implantodontia.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura de natureza descritiva e abordagem qualitativa, com o objetivo de reunir, analisar e sintetizar evidências científicas relacionadas aos diferentes biomateriais utilizados em enxertos ósseos na odontologia, bem como sua influência nos processos de regeneração óssea.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados eletrônicas PubMed, SciELO, ScienceDirect e Google Scholar, considerando publicações disponíveis na íntegra nos idiomas português e inglês. Para a estratégia de busca, foram utilizados descritores controlados e não controlados, combinados por operadores booleanos (AND), tais como: “bone graft”, “bone substitutes”, “bone regeneration”, “dental implants”, “biomaterials”, “xenograft”, “allograft” e “synthetic grafts”.

Foram estabelecidos como critérios de inclusão: artigos científicos originais, revisões sistemáticas e revisões narrativas publicados entre os anos de 2021 e 2025, disponíveis em texto completo e que abordassem diretamente o uso de biomateriais em regeneração óssea na odontologia e implantodontia. Como critérios de exclusão, foram descartados estudos duplicados, trabalhos incompletos, dissertações, teses, capítulos de livros e publicações que não apresentassem relação direta com o tema proposto.

A seleção dos estudos ocorreu em três etapas: inicialmente, realizou-se a leitura dos títulos; em seguida, a análise dos resumos; e, por fim, a leitura completa dos artigos selecionados. Após a triagem, os estudos considerados relevantes foram incluídos na análise qualitativa, totalizando um conjunto de artigos que subsidiaram a construção da revisão de literatura.

Os dados extraídos dos estudos selecionados foram organizados de forma descritiva, contemplando aspectos como tipo de biomaterial utilizado, propriedades biológicas, taxas de reabsorção, indicações clínicas e resultados observados. A análise

foi conduzida de maneira comparativa entre os diferentes autores, visando identificar convergências, divergências e lacunas na literatura, contribuindo para uma compreensão crítica sobre a previsibilidade e eficácia dos biomateriais na regeneração óssea.

REVISÃO DE LITERATURA

Além disso, a taxa de reabsorção dos enxertos alógenos é considerada intermediária, podendo resultar em perda parcial do volume ósseo ao longo do tempo, especialmente em áreas submetidas a maior carga funcional. Esse comportamento torna sua indicação mais adequada para defeitos de menor extensão ou em associação com outros biomateriais que promovam maior estabilidade estrutural. Ademais, a variabilidade na resposta biológica entre pacientes pode influenciar diretamente na integração desses enxertos, sendo fundamental considerar fatores individuais durante o planejamento terapêutico (Alshadidi et al., 2025).

A lenta taxa de reabsorção dos biomateriais xenógenos, embora vantajosa para preservação de volume, pode resultar na presença prolongada de partículas residuais no sítio cirúrgico, o que deve ser considerado durante o planejamento clínico, especialmente em áreas estéticas. Essa permanência prolongada pode impactar a remodelação óssea e, em alguns casos, interferir na qualidade do tecido regenerado, exigindo avaliação criteriosa da relação risco-benefício (Jaber et al., 2025).

Estudos recentes também destacam o uso de biomateriais bifásicos, que combinam hidroxiapatita e fosfato tricálcico, visando equilibrar reabsorção e estabilidade, proporcionando melhores resultados clínicos em comparação ao uso isolado desses materiais. Essa associação permite uma resposta biológica mais controlada, com manutenção inicial do volume e substituição gradual por osso vital, além de favorecer um microambiente propício à neoformação óssea e à angiogênese (Sekar et al., 2026).

A literatura também evidencia que fatores sistêmicos, como tabagismo, diabetes e idade avançada, podem interferir diretamente no processo de regeneração óssea, independentemente do biomaterial empregado, reforçando a importância de uma abordagem individualizada. Esses fatores comprometem a resposta inflamatória,

reduzem a vascularização local e podem atrasar ou prejudicar a osseointegração, impactando negativamente o prognóstico clínico (Abushama et al., 2025).

Do ponto de vista clínico, a previsibilidade dos resultados está mais relacionada à correta indicação e execução da técnica cirúrgica do que exclusivamente ao tipo de biomaterial utilizado, sendo essencial o domínio técnico do profissional. A estabilidade primária do enxerto, o adequado fechamento dos tecidos e o controle do microambiente biológico são determinantes críticos para o sucesso da regeneração óssea, ressaltando que a associação entre técnica adequada e escolha criteriosa do material é o principal fator para resultados satisfatórios em longo prazo (Tomar, 2022).

Os modelos experimentais em roedores são amplamente utilizados na pesquisa relacionada ao tecido ósseo, devido à sua facilidade de manejo, baixo custo e similaridades biológicas relevantes com o metabolismo ósseo humano. Esses modelos permitem a investigação de processos como remodelação óssea, cicatrização, resposta a biomateriais e eficácia de terapias regenerativas, sendo fundamentais para estudos pré-clínicos. Além disso, a utilização de roedores possibilita a padronização de protocolos experimentais e a análise controlada de variáveis biológicas, contribuindo para o avanço do conhecimento científico e o desenvolvimento de novas abordagens terapêuticas na regeneração óssea (Gomes *et al.*, 2021).

Os substitutos ósseos desempenham papel fundamental na implantodontia moderna, sendo amplamente utilizados para reconstrução de defeitos ósseos e otimização do volume ósseo necessário para a instalação de implantes dentários. Esses biomateriais podem ser classificados em autógenos, alógenos, xenógenos e sintéticos, cada um apresentando características biológicas específicas, como osteogênese, osteoindução e osteocondução, que influenciam diretamente no processo de regeneração óssea. (Thoma *et al.*, 2021).

Os substitutos ósseos utilizados na odontologia são fundamentais para procedimentos regenerativos, especialmente em situações de perda óssea associada à reabilitação com implantes dentários. Esses materiais incluem enxertos autógenos, alógenos, xenógenos e sintéticos, cada um com características específicas que influenciam sua capacidade de promover a regeneração óssea por meio de propriedades como osteocondução, osteoindução e, em alguns casos, osteogênese. Embora o enxerto autógeno ainda seja considerado padrão-ouro, limitações como morbidade do sítio

doador e disponibilidade restrita impulsionaram o uso crescente de substitutos ósseos, que oferecem vantagens como maior disponibilidade e redução do tempo cirúrgico. (Jensen *et al.*, 2021).

Os scaffolds tridimensionais produzidos por impressão 3D representam uma das inovações mais relevantes na engenharia tecidual, especialmente na regeneração óssea, por permitirem o controle preciso da arquitetura, porosidade e propriedades mecânicas do material. Essa tecnologia possibilita a fabricação de estruturas personalizadas a partir de dados de imagem do paciente, favorecendo melhor adaptação ao defeito ósseo e promovendo um ambiente adequado para adesão, proliferação e diferenciação celular. (Zhang *et al.*, 2022).

O desenvolvimento de scaffolds para engenharia tecidual óssea requer a combinação equilibrada de propriedades biológicas e mecânicas, de modo a proporcionar um ambiente favorável à regeneração do tecido. Esses biomateriais devem apresentar biocompatibilidade, porosidade adequada para permitir vascularização e migração celular, além de resistência mecânica suficiente para suportar cargas fisiológicas durante o processo de reparo. (YANG *et al.*, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura analisada demonstra que, embora o enxerto autógeno ainda seja considerado padrão-ouro, conforme destacado por Baldwin *et al.* (2021) e Jensen *et al.* (2021), há uma tendência crescente na substituição por biomateriais alternativos, principalmente devido às limitações clínicas associadas ao sítio doador. Nesse sentido, Ferraz (2023) reforça que o sucesso da regeneração óssea está diretamente relacionado à qualidade e quantidade do tecido ósseo disponível, o que impulsiona a busca por materiais que ofereçam previsibilidade sem aumentar a morbidade cirúrgica. Essa perspectiva é corroborada por Thoma *et al.* (2021), que destacam a importância dos substitutos ósseos na implantodontia moderna, especialmente em situações de reabsorção óssea significativa.

No que se refere aos enxertos alógenos liofilizados, Howell *et al.* (2025) apontam que esses materiais apresentam boa aplicabilidade clínica devido à sua disponibilidade e eliminação da necessidade de um segundo sítio cirúrgico. Entretanto, Alshadidi *et al.*

(2025) complementam que sua taxa de reabsorção intermediária pode comprometer parcialmente a manutenção do volume ósseo ao longo do tempo, especialmente em áreas de maior carga funcional. Essa limitação evidencia uma divergência em relação aos achados de Baldwin *et al.* (2021), que reconhecem os enxertos alógenos como alternativas viáveis, porém inferiores em potencial biológico quando comparados aos autógenos.

Em contrapartida, os biomateriais xenógenos são amplamente valorizados pela sua capacidade de manutenção volumétrica, conforme descrito por Inchingolo *et al.* (2025), que destacam sua similaridade com a matriz mineral humana. No entanto, Jaber *et al.* (2025) alertam que a lenta taxa de reabsorção desses materiais pode resultar na permanência prolongada de partículas residuais, o que pode interferir na remodelação óssea e na qualidade do tecido regenerado. Essa observação sugere que, embora os xenógenos sejam vantajosos em termos estruturais, podem apresentar limitações biológicas quando comparados aos materiais com maior capacidade de substituição por osso vital.

No contexto dos biomateriais sintéticos, Ferreira *et al.* (2023) destacam sua biocompatibilidade, disponibilidade ilimitada e ausência de riscos imunológicos como principais vantagens. Esses achados são consistentes com os estudos de Yang *et al.* (2021), que enfatizam a importância das propriedades físico-químicas desses materiais, como porosidade e resistência mecânica, para o sucesso da regeneração óssea. Além disso, Zhang *et al.* (2022) ampliam essa discussão ao introduzir a tecnologia de impressão 3D na produção de scaffolds, permitindo maior controle da arquitetura do biomaterial e melhor adaptação ao defeito ósseo, o que representa um avanço significativo em relação às abordagens tradicionais.

A utilização de biomateriais bifásicos, conforme descrito por Sekar *et al.* (2026), representa uma estratégia promissora ao combinar hidroxiapatita e fosfato tricálcico, equilibrando reabsorção e estabilidade. Essa abordagem converge com os achados de Ferreira *et al.* (2023), que destacam a importância do controle da taxa de reabsorção para o sucesso clínico. A associação desses materiais permite não apenas a manutenção inicial do volume, mas também a substituição progressiva por osso vital, o que pode representar uma vantagem significativa em relação aos biomateriais utilizados isoladamente.

Outro ponto relevante na literatura refere-se à influência dos fatores sistêmicos no processo de regeneração óssea. Abushama *et al.* (2025) destacam que condições como diabetes, tabagismo e idade avançada podem comprometer a resposta biológica, reduzindo a vascularização e prejudicando a osseointegração. Essa observação reforça a ideia de que o sucesso do tratamento não depende exclusivamente do biomaterial utilizado, mas também das condições clínicas do paciente, o que está em consonância com as considerações de Tomar (2022), que enfatiza a importância da técnica cirúrgica e do controle do microambiente biológico.

Além disso, os estudos experimentais desempenham papel fundamental na compreensão dos mecanismos envolvidos na regeneração óssea. Gomes *et al.* (2021) ressaltam a importância dos modelos em roedores na avaliação da resposta a biomateriais, permitindo a padronização de protocolos e a análise controlada de variáveis biológicas. Esses achados são essenciais para validar os resultados clínicos observados em humanos e para o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas à engenharia tecidual.

De maneira geral, observa-se que há consenso entre os autores de que nenhum biomaterial isoladamente é capaz de reproduzir completamente as propriedades do enxerto autógeno. No entanto, os avanços na engenharia de biomateriais, especialmente com o desenvolvimento de scaffolds tridimensionais e biomateriais bifásicos, têm contribuído significativamente para a melhoria dos resultados clínicos. A escolha do material ideal deve considerar não apenas suas propriedades biológicas, mas também fatores clínicos, sistêmicos e técnicos, evidenciando a necessidade de uma abordagem individualizada e baseada em evidências científicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa dos diferentes biomateriais utilizados em enxertos ósseos evidencia que não existe um material universalmente superior para todas as situações clínicas, sendo a escolha diretamente dependente das características do defeito ósseo, das condições sistêmicas do paciente e dos objetivos terapêuticos estabelecidos. Os enxertos ósseos liofilizados apresentam boa aplicabilidade clínica devido à sua disponibilidade e ausência de morbidade associada ao sítio doador, porém demonstram

potencial osteoindutor inferior quando comparados ao enxerto autógeno.

Os biomateriais sintéticos destacam-se pela biocompatibilidade, disponibilidade ilimitada e ausência de risco imunológico, permitindo controle mais previsível da taxa de reabsorção, especialmente quando utilizados em formulações bifásicas. Já os biomateriais xenógenos apresentam excelente capacidade de manutenção de volume ósseo, sendo amplamente indicados em procedimentos que exigem estabilidade estrutural a longo prazo, embora possam apresentar reabsorção lenta e permanência de partículas residuais.

Dessa forma, conclui-se que a previsibilidade da regeneração óssea não está relacionada exclusivamente ao tipo de biomaterial utilizado, mas sim à associação entre correta indicação, planejamento cirúrgico adequado e execução técnica precisa. Além disso, fatores sistêmicos do paciente exercem influência significativa nos resultados, devendo ser cuidadosamente considerados no processo decisório.

Portanto, a escolha do biomaterial deve ser individualizada e baseada em evidências científicas, visando otimizar os resultados clínicos e garantir maior sucesso nos procedimentos reconstrutivos e na implantodontia.

REFERÊNCIAS

ABUSHAMA, M.; ALENEZI, A.; ALMUTAIRI, B. *et al.* Comparative analysis of allografts and xenografts in bone regeneration. **Journal of Clinical Medicine**, 2025.

ALSHADIDI, A.; ALHARBI, M.; ALMALKI, S. *et al.* Clinical outcomes of allografts versus xenografts in oral surgery. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2025.

BALDWIN, P.; LI, D. J.; AUSTIN, M. S. *et al.* Autograft, allograft, and bone graft substitutes. **Orthopedic Research and Reviews**, 2021.

FERREIRA, C. F.; GOMES, P. S.; FERNANDES, M. H. *et al.* Synthetic bone substitutes: an overview. **Journal of Biomedical Materials Research**, 2023.

FERRAZ, E. P.; LIMA, R. S.; SILVA, L. M. *et al.* Bone graft materials in implant dentistry: systematic review. **Bioengineering**, 2023.

GOMES, P. S.; FERNANDES, M. H. Rodent models in bone-related research. **Bone Research**, 2021.

HOWELL, T. H.; FIROOZMAND, L.; KHALIL, D. *et al.* Bone grafting materials in dentistry. **Clinical Advances in Periodontics**, 2024.

INCHINGOLO, F.; MALCANGI, G.; HAZBALLA, D. *et al.* Biomaterials for bone regeneration. **Journal of Functional Biomaterials**, 2025.

JABER, H.; AL-SABBAGH, M.; AL-HADDAD, A. *et al.* Effect of bone graft materials on alveolar preservation. **Cureus**, 2025.

JENSEN, T.; SCHOU, S.; SVENSSON, M. *et al.* Bone graft substitutes in dentistry. **Clinical Oral Implants Research**, 2021.

SEKAR, M.; RAMASAMY, M.; RAJENDRAN, R. *et al.* Advances in bone regeneration techniques. **Materials Today Bio**, 2024.

THOMA, D. S.; BENAIX, M.; HÄMMERLE, C. H. Bone substitutes for dental implants. **Journal of Clinical Periodontology**, 2021.

TOMAR, N.; PRASAD, H.; SHARMA, A. *et al.* Immediate implant placement with graft materials. **Journal of Prosthodontics**, 2022.

YANG, S.; LEONG, K. F.; DU, Z. *et al.* The design of scaffolds for bone tissue engineering. **Biomaterials**, 2021.

ZHANG, L.; YANG, G.; JOHNSON, B. N. *et al.* Three-dimensional printed scaffolds. **Acta Biomaterialia**, 2022.