

**TECNOLOGIAS
REGENERATIVAS PARA
AUMENTO DE REBORDO
ALVEOLAR ATRÓFICO: UMA
REVISÃO INTEGRATIVA DA
LITERATURA**

**REGENERATIVE TECHNOLOGIES FOR AUGMENTING ATROPHIC ALVEOLAR
RIDGE: AN INTEGRATIVE LITERATURE REVIEW**

Ciências da Saúde • 18/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/781728684](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/781728684)

Kevin Cavalcante Almeida¹

Kauan Arthur Costa Santos²

Ayrton Yuset Salas Lola³

Eybert Yassit Salas Lola⁴

Ana Carolina Garcia da Silva⁵

Joao Marcos Ferreira dos Santos⁶

Heitor Lima Ribeiro⁷

Junio Henrique Queiroz da Silva⁸

Geovanna Souza Araújo⁹

Laura Beatriz Sousa Lopes¹⁰

Sandra Caldas da Rocha¹¹

Leonardo Araújo de Andrade¹²

Mateus Fiuza Santos¹³

RESUMO

A atrofia do rebordo alveolar é consequência direta da perda dentária e consiste na reabsorção progressiva do tecido ósseo alveolar, resultando em déficit volumétrico tridimensional que compromete a instalação de implantes osseointegrados. A condição afeta parcela expressiva da população adulta em todo o mundo, impondo limitações funcionais, estéticas e protéticas com impacto significativo na qualidade de vida. No contexto da implantodontia e da cirurgia bucomaxilofacial, o aumento ósseo alveolar prévio ou concomitante à instalação dos implantes constitui etapa fundamental da reabilitação oral. Diante das limitações das técnicas convencionais, notadamente a morbidade do sítio doador, a reabsorção volumétrica e o prolongado período de cicatrização, novas tecnologias têm sido desenvolvidas com vistas a resultados mais previsíveis e menor morbidade. O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão integrativa da literatura sobre as principais tecnologias empregadas no aumento de rebordos alveolares atroficos, analisando indicações, vantagens, limitações e perspectivas futuras. A busca foi conduzida nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar, com publicações do período de 2021 a 2026, resultando na inclusão de 49 estudos. As principais tecnologias identificadas foram: regeneração óssea guiada (ROG) com membranas de barreira de nova geração, técnica de Khoury, shell technique, malhas de titânio customizadas por CAD/CAM, scaffolds impressos em três dimensões, rhBMP-2, concentrados plaquetários (PRF, L-PRF e i-PRF), engenharia tecidual com células-tronco mesenquimais, exossomos e oseodensificação. Concluiu-se que a ROG e os concentrados plaquetários possuem evidências científicas consolidadas, enquanto a impressão 3D, a engenharia tecidual e os exossomos representam tendências promissoras ainda carentes de

validação clínica de longo prazo.

Palavras-chave: Aumento de rebordo alveolar; Regeneração óssea guiada; Impressão tridimensional; Células-tronco mesenquimais; Implantodontia.

ABSTRACT

Alveolar ridge atrophy is a direct consequence of tooth loss and consists of the progressive resorption of alveolar bone tissue, resulting in a three-dimensional volumetric deficit that compromises the placement of osseointegrated implants. This condition affects a significant portion of the adult population worldwide, imposing functional, aesthetic, and prosthetic limitations with a significant impact on quality of life. In the context of implantology and maxillofacial surgery, alveolar bone augmentation prior to or concurrent with implant placement is a fundamental step in oral rehabilitation. Given the limitations of conventional techniques, notably donor site morbidity, volumetric resorption, and prolonged healing time, new technologies have been developed aiming for more predictable results and lower morbidity. The objective of this study was to conduct a narrative-integrative literature review on the main technologies used in the augmentation of atrophic alveolar ridges, analyzing indications, advantages, limitations, and future perspectives. The search was conducted in the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO, and Google Scholar databases, with publications from 2021 to 2026, resulting in the inclusion of 49 studies. The main technologies identified were: guided bone regeneration (GBR) with next-generation barrier membranes, Khoury technique, shell technique, CAD/CAM-customized titanium meshes, 3D printed scaffolds, rhBMP-2, platelet concentrates (PRF, L-PRF, and i-PRF), tissue engineering with mesenchymal stem cells, exosomes, and

osteodensification. It was concluded that GBR and platelet concentrates have consolidated scientific evidence, while 3D printing, tissue engineering, and exosomes represent promising trends still lacking long-term clinical validation.

Keywords: Alveolar ridge augmentation; Guided bone regeneration; Three-dimensional printing; Mesenchymal stem cells; Implantology.

1. INTRODUÇÃO

A perda dentária representa um dos problemas de saúde bucal de maior prevalência e impacto global. Além do comprometimento imediato da estética e da função mastigatória, a ausência dos elementos dentários desencadeia um processo contínuo de reabsorção do osso alveolar, estrutura que perde sua função principal após a exodontia. Esse fenômeno, denominado atrofia do rebordo alveolar, resulta em déficit volumétrico progressivo tanto na dimensão horizontal quanto na vertical, comprometendo de forma direta as condições necessárias para a instalação de implantes osseointegrados (SIMUNDI; SIMUNDI, 2025; ELBORAEY et al., 2025).

No Brasil, estimativas epidemiológicas apontam que uma parcela significativa da população adulta apresenta algum grau de edentulismo e atrofia alveolar associada, especialmente nos grupos etários mais avançados e nas regiões com menor acesso histórico à odontologia preventiva. O manejo clínico dessa condição ocupa posição central na implantodontia contemporânea e na cirurgia bucomaxilofacial, exigindo do profissional domínio de um crescente e diversificado arsenal de técnicas e tecnologias reconstrutivas (VIEIRA et al., 2023; RESTELATO, 2023).

Durante décadas, as técnicas convencionais de aumento ósseo alveolar, com destaque para os enxertos autógenos em bloco, considerados historicamente o padrão-ouro, serviram como base da reconstrução pré-protética. No entanto, tais abordagens apresentam limitações bem documentadas na literatura: a necessidade de um segundo sítio cirúrgico para coleta do enxerto autógeno eleva a morbidade pós-operatória e a taxa de reabsorção volumétrica do enxerto ao longo do tempo pode comprometer o resultado a longo prazo, e o prolongado período de cicatrização, frequentemente superior a seis meses, impacta negativamente a qualidade de vida do paciente (CHATELET; AFOTA; SAVOLDELLI, 2021; ROMITO et al., 2022; ANJOS et al., 2022).

Diante dessas limitações, os últimos quinze anos testemunharam o surgimento e a progressiva consolidação de novas abordagens tecnológicas para o aumento do rebordo alveolar. A regeneração óssea guiada (ROG) com membranas de barreira foi uma das primeiras inovações a transformar este campo, oferecendo resultados previsíveis em defeitos de moderada extensão. Desde então, o desenvolvimento da técnica de Khoury com lâminas corticais autógenas, da shell technique com aloenxertos, das malhas de titânio customizadas por tecnologia CAD/CAM, da impressão tridimensional de scaffolds personalizados e do uso de proteínas morfogenéticas ósseas recombinantes (rhBMP-2) ampliou consideravelmente as possibilidades terapêuticas disponíveis ao especialista (CHIAPASCO et al., 2021; KIM et al., 2025; IVANOVSKI et al., 2023).

Paralelamente, avanços provenientes da biotecnologia e da medicina regenerativa introduziram estratégias de base celular e molecular, incluindo os concentrados plaquetários de segunda e

terceira geração, Fibrina Rica em Plaquetas (PRF), L-PRF e i-PRF, a engenharia tecidual com células-tronco mesenquimais e, mais recentemente, a utilização de exossomos como mediadores da regeneração óssea. Essas abordagens buscam não apenas repor o volume ósseo perdido, mas estimular ativamente os processos biológicos endógenos de neoformação tecidual (PÉREZ-LEAL et al., 2022; SILVA et al., 2026; AMORIM; FELIZARDO; SÁ, 2024).

O presente estudo objetiva realizar uma revisão integrativa da literatura sobre as principais tecnologias atualmente empregadas no aumento de rebordos alveolares atróficos, analisando suas indicações clínicas, vantagens, limitações, previsibilidade e perspectivas futuras, com embasamento em evidências científicas de alto nível

2. METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão do tipo integrativa que possibilita a síntese de evidências de pesquisas com variados delineamentos metodológicos, favorecendo uma visão crítica, contextualizada e abrangente sobre o estado do conhecimento em um tema específico. Esta estratégia é particularmente recomendada para assuntos que estão passando por rápidas mudanças tecnológicas, como o tema desta revisão.

A busca na literatura foi realizada nas seguintes bases de dados eletrônicas: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO (Scientific Electronic Library Online) e Google Scholar. O intervalo de busca foi estabelecido entre 2021 e 2026, dando preferência às publicações mais recentes e com maior relevância científica registrada.

Foram utilizados os seguintes descritores controlados e termos livres, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR: "Alveolar Ridge Augmentation"; "Bone Regeneration"; "Guided Bone Regeneration"; "Atrophic Alveolar Ridge"; "3D Printing Bone Regeneration"; "Titanium Mesh Bone Regeneration"; "Mesenchymal Stem Cells Bone"; "Platelet Rich Fibrin"; "Shell Technique"; "Khoury Technique"; "Osseodensification"; "rhBMP-2 Bone Augmentation"; "Aumento de rebordo alveolar"; "Regeneração óssea guiada"; "Células-tronco mesenquimais"; "Exossomos regeneração óssea". As combinações principais empregadas foram: ("Alveolar Ridge Augmentation") AND ("Bone Regeneration" OR "Guided Bone Regeneration" OR "3D Printing" OR "Stem Cells" OR "Platelet Rich Fibrin" OR "Shell Technique" OR "Titanium Mesh").

2.1. Critérios de Inclusão e Exclusão

Tabela 1 – Critérios de inclusão e exclusão dos estudos selecionados para a revisão integrativa da literatura

Inclusão	Exclusão
Artigos publicados entre 2021 e 2026	Artigos publicados fora do período estabelecido
Português, inglês e espanhol	Publicações em outros idiomas
Revisões sistemáticas, metanálises, ensaios clínicos randomizados e não randomizados, estudos prospectivos e retrospectivos, revisões narrativas e integrativas de alto impacto	Relatos de caso isolados de baixo impacto científico, editoriais, cartas ao editor e estudos sem rigor metodológico
Estudos que abordassem diretamente tecnologias para aumento do rebordo	Estudos que não abordassem o tema central da revisão

alveolar atrófico com aplicação à implantodontia	
Artigos disponíveis na íntegra	Publicações sem texto completo disponível
Estudos com aplicação clínica em humanos	Pesquisas exclusivamente <i>in vitro</i> ou realizadas em modelos animais sem correlação clínica
Estudos únicos identificados nas bases de dados	Estudos duplicados encontrados em mais de uma base de dados

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2.2. Processo de Seleção dos Estudos

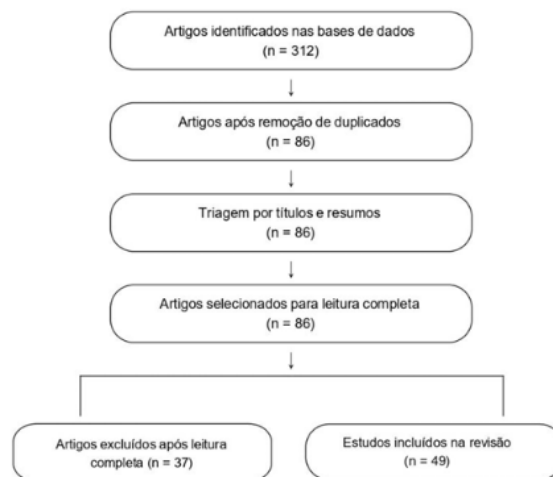
O processo de seleção ocorreu em quatro etapas sequenciais:

1. Identificação dos artigos por meio dos descritores nas bases de dados;
2. Leitura dos títulos e resumos para verificação de elegibilidade preliminar;
3. Aplicação formal dos critérios de inclusão e exclusão;
4. Leitura completa dos artigos pré-selecionados e extração dos dados relevantes para a síntese.

A busca bibliográfica resultou na identificação inicial de 312 estudos potencialmente elegíveis. Após eliminação de duplicatas e leitura de títulos e resumos, 86 artigos foram pré-selecionados para leitura

completa. Após aplicação formal dos critérios de inclusão e exclusão, 49 estudos foram incluídos na síntese final desta revisão (Figura 1).

A avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos foi realizada de forma descritiva, considerando o delineamento de cada publicação e o nível de evidência correspondente, segundo a hierarquia proposta pelo Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (OCEBM). Não foi aplicado instrumento formal de análise de risco de viés, o que constitui limitação do presente estudo. O protocolo desta revisão não foi registrado previamente em plataforma de registro de revisões.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Rebordo Alveolar Atrófico: Conceito, Etiologia e Classificação

O rebordo alveolar corresponde à porção do osso maxilar ou mandibular que contém e suporta os alvéolos dentários. Sua manutenção volumétrica depende diretamente da presença e da função dos dentes, pois a carga oclusal transmitida pelos elementos dentários ao osso alveolar constitui o principal estímulo mecânico que regula o remodelamento e a preservação dessa estrutura. Na ausência desse estímulo, após a perda dentária, o processo alveolar

inicia reabsorção progressiva mediada por osteoclastos, com redução contínua nas dimensões horizontal e vertical (SIMUNDI; SIMUNDI, 2025; DOMINGUITO et al., 2026).

O processo de reabsorção apresenta dinâmica temporal bem caracterizada: é mais intenso nos primeiros seis a doze meses após a exodontia, quando pode corresponder a até 50% da largura original do rebordo, e prossegue de forma mais lenta, porém contínua ao longo da vida do indivíduo edêntulo. Estima-se que, após dez anos de edentulismo sem reabilitação protética adequada, a perda óssea acumulada possa resultar em atrofia severa, com rebordos residuais extremamente delgados e baixos, inviabilizando a instalação convencional de implantes sem reconstrução prévia (VIEIRA et al., 2023; MIRANDA et al., 2026).

As principais etiologias da atrofia alveolar incluem: exodontias realizadas sem preservação alveolar adequada (causa mais prevalente); doença periodontal avançada, que destrói progressivamente o osso de suporte dentário; traumas dento-alveolares com avulsão ou fratura radicular; infecções odontogênicas como abscessos e osteomielites; cistos e tumores odontogênicos com envolvimento ósseo; reabilitações protéticas removíveis convencionais que exercem pressão direta sobre o rebordo; e fatores sistêmicos como osteoporose, diabetes mellitus não controlado, tabagismo e uso prolongado de bifosfonatos, que comprometem o metabolismo ósseo e intensificam a reabsorção (ELBORAEY et al., 2025; RESTELATO, 2023).

Para orientar o planejamento terapêutico, diversas classificações foram propostas para quantificar a atrofia alveolar. A classificação de Cawood e Howell (1988), amplamente utilizada, descreve seis classes

progressivas de reabsorção para os rebordos edêntulos: classe I (presença do dente), classe II (pós-extração imediata), classe III (rebordo arredondado com altura e largura adequadas), classe IV (rebordo em faca de bisturi, com altura adequada, mas largura insuficiente), classe V (rebordo plano, com altura e largura insuficientes) e classe VI (rebordo deprimido com perda óssea basal). A classificação de Lekholm e Zarb avalia concomitantemente a quantidade óssea disponível (classes A a E) e a qualidade do osso (tipos I a IV, do mais cortical ao mais esponjoso), fornecendo informações complementares para a seleção da técnica mais adequada (GARANTIZADO et al., 2025; VERARDO et al., 2023).

As consequências clínicas da atrofia alveolar não se restringem apenas à implantodontia, a redução do volume ósseo resulta no colapso progressivo dos tecidos moles peribucais, com acentuação das rugas periorais, retração do lábio superior e alterações do perfil facial que promovem envelhecimento precoce da aparência do paciente edêntulo. Do ponto de vista funcional, o rebordo atrófico compromete a estabilidade e a retenção das próteses totais convencionais, interferindo diretamente na mastigação, na fala e na deglutição, com consequências sobre o estado nutricional e a qualidade de vida (MIRANDA et al., 2026; NASCIMENTO et al., 2024).

3.2. Técnicas Convencionais de Aumento Ósseo

Antes da disseminação das novas tecnologias, o aumento ósseo alveolar era realizado predominantemente por meio de enxertos ósseos clássicos, classificados de acordo com sua origem biológica em: autógenos, alógenos, xenógenos e aloplásticos. Cada categoria apresenta características específicas quanto às propriedades

biológicas, disponibilidade, segurança, custo e morbidade associada (ANJOS et al., 2022).

O enxerto ósseo autógeno possui as três propriedades biológicas ideais para a regeneração óssea: osteogênese (células osteoblásticas viáveis no enxerto), osteoindução (fatores de crescimento que induzem as células mesenquimatosas locais a se diferenciarem em osteoblastos) e osteocondução (estrutural tridimensional que atua como suporte para o desenvolvimento de novo tecido ósseo). Pelas razões expostas, foi considerado por décadas o padrão-ouro da reconstrução alveolar. As principais áreas doadoras intraorais incluem a sínfise mandibular, a região retromolar e o ramo da mandíbula, enquanto as áreas extraorais, crista ilíaca anterior e posterior, calota craniana e tíbia, são reservadas para casos com necessidade de volumes ósseos maiores (CHATELET; AFOTA; SAVOLDELLI, 2021; ROMITO et al., 2022).

No entanto, as limitações do enxerto autógeno são bem conhecidas e documentadas. Entre as complicações associadas ao sítio doador, podemos citar dor pós-operatória, inchaço, sensação de formigamento temporária ou permanente (particularmente na coleta da sínfise mandibular, que apresenta risco de lesão do nervo mentoniano), risco de fratura mandibular, cicatriz extraoral (nos locais de doação extraorais) e aumento do tempo total da cirurgia. Além disso, estudos de acompanhamento demonstram que os enxertos autógenos em bloco sofrem reabsorção volumétrica variável, estimada entre 20% e 60% do volume inicial, ao longo do primeiro ano pós-operatório, o que pode comprometer o resultado se não houver dimensionamento adequado do volume enxertado. O longo período de cicatrização necessário antes da instalação dos implantes, geralmente de quatro a seis meses, também representa

limitação clínica relevante (CHATELET; AFOTA; SAVOLDELLI, 2021; ROMITO et al., 2022).

Os aloenxertos, obtidos de bancos de osso humano certificados e submetidos a processamento que elimina células viáveis e potenciais agentes infecciosos, preservando a matriz óssea mineralizada ou desmineralizada, eliminam a necessidade do segundo sítio cirúrgico e disponibilizam material em volume praticamente ilimitado. O ensaio clínico randomizado de Romito et al. (2022), que avaliou blocos ósseos xenógenos colagenados em comparação aos autógenos na reconstrução atrófica, demonstrou não inferioridade do xenógeno com significativa redução da morbidade, representando um ponto de inflexão na literatura ao questionar a supremacia incondicional do enxerto autógeno (ROMITO et al., 2022; KÄMMERER et al., 2022).

Os biomateriais sintéticos (aloplásticos), como a hidroxiapatita (HA), o fosfato tricálcico- β (β -TCP) e os vidros bioativos, exercem função predominantemente osteocondutora, servindo como estrutura de suporte para a colonização por células osteogênicas do hospedeiro. Apresentam disponibilidade ilimitada, ausência de risco imunológico ou de transmissão de doenças e custo progressivamente acessível. A revisão de Garantizado et al. (2025) destacou os avanços nos biomateriais sintéticos de nova geração, com nanotexturização superficial e incorporação de fatores bioativos, demonstrando que estas formulações modernas apresentam desempenho osteoconduto comparável e, em algumas situações, superior aos xenoenxertos convencionais (NEVES; SANTINONI; MORI, 2021; GARANTIZADO et al., 2025).

3.3. Regeneração Óssea Guiada (ROG)

A regeneração óssea guiada (ROG) fundamenta-se no princípio biológico do isolamento seletivo do coágulo sanguíneo formado no interior de um defeito ósseo, por meio da interposição de uma membrana de barreira entre o espaço ósseo e os tecidos moles adjacentes. Esse princípio impede a migração de células de cicatrização rápida, fibroblastos e células epiteliais, para o interior do defeito, favorecendo a colonização preferencial e exclusiva por células osteogênicas provenientes do periósteo e da medula óssea. A manutenção de um espaço protegido e bem vascularizado é condição fundamental para que a neoformação óssea ocorra de forma organizada e previsível (ZEFERINO; DAL PAZ; BATTISTELLA, 2023; ANJOS et al., 2022).

As membranas utilizadas em ROG são classicamente divididas em dois grandes grupos. As membranas não absorvíveis, representadas pelas de politetrafluoretileno expandido (e-PTFE) e pelas reforçadas com titânio (Ti-PTFE), conferem maior rigidez estrutural, permitindo a manutenção do espaço sub-membranar por períodos prolongados mesmo em defeitos volumosos e sem suporte ósseo lateral. Sua principal desvantagem é a necessidade de segundo tempo cirúrgico para remoção após o período de regeneração, com risco adicional de exposição precoce e infecção que pode comprometer o resultado. As membranas absorvíveis, à base de colágeno bovino ou porcino ou de polímeros sintéticos como o ácido polilático (PLA) e o ácido poliglicólico (PGA), são degradadas enzimaticamente pelo organismo ao longo de semanas a meses, eliminando a necessidade de remoção cirúrgica e reduzindo a morbidade. Entretanto, sua menor rigidez torna-as susceptíveis ao colapso precoce em defeitos de grandes dimensões sem suporte ósseo adequado (KORMAS et al., 2022; SASAKI et al., 2021; SOLOMON et al., 2022; XIMENES et al., 2022).

Uma importante tendência recente é o desenvolvimento de membranas de nova geração com propriedades ativas, que vão além da simples função de barreira mecânica. Estas membranas incorporam nanopartículas de óxido de zinco (com ação antimicrobiana), partículas de hidroxiapatita (para estimular a osteocondução), fatores de crescimento recombinantes como BMP-2 e TGF- β , íons metálicos com efeito bioativo e sistemas de liberação controlada de antibióticos para reduzir o risco de infecção. A revisão de Toledano-Osorio et al. (2021) avaliou criticamente essas membranas ativas, demonstrando resultados promissores em modelos experimentais, embora a validação clínica em larga escala ainda seja necessária para estabelecer indicações definitivas. A revisão de Gao et al. (2022) analisou os avanços nas membranas biodegradáveis modificadas, concluindo que as formulações modernas representam alternativas crescentemente competitivas às membranas não absorvíveis em defeitos de moderada extensão (TOLEDANO-OSORIO et al., 2021; GAO et al., 2022).

A ROG tem demonstrado resultados consistentes para o aumento ósseo horizontal, com a associação a enxertos ósseos particulados (ROG associada) como protocolo de escolha em defeitos de moderado a grande porte. Para o aumento vertical, considerado tecnicamente mais desafiador pela necessidade de manutenção de espaço tridimensional contra a gravidade e a pressão dos tecidos moles, a ROG com membranas reforçadas com titânio apresenta resultados favoráveis, embora com taxas de complicações (principalmente exposição da membrana) superiores às observadas no aumento horizontal. A revisão de Ferreira et al. (2024) demonstrou que a ROG com suporte rígido (malhas ou membranas reforçadas) constitui abordagem eficaz para ganhos verticais de até

4–5 mm com previsibilidade satisfatória (ANJOS et al., 2022; FERREIRA et al., 2024; SANTOS et al., 2025).

3.4. Concentrados Plaquetários: PRF, L-PRF e I-PRF

Os concentrados plaquetários representam categoria de adjuvantes biológicos fundamentada no princípio de concentrar, a partir do sangue autógeno do próprio paciente, os fatores de crescimento, proteínas de adesão celular e células imunorregulatórias presentes no plasma sanguíneo, disponibilizando-os no sítio cirúrgico em concentrações supra-fisiológicas. A geração mais recente desses concentrados, Fibrina Rica em Plaquetas (PRF), Fibrina Rica em Plaquetas e Leucócitos (L-PRF) e Fibrina Rica em Plaquetas Injetável (i-PRF), dispensam o uso de anticoagulantes ou ativadores exógenos, como a trombina bovina utilizada nas formulações de primeira geração, denominadas Plasma Rico em Plaqueta (PRP), resultando em uma matriz de fibrina autógena com propriedades biológicas superiores e liberação mais prolongada e fisiológica dos fatores de crescimento (KERHWALD et al., 2021; AMORIM; FELIZARDO; SÁ, 2024).

Os principais fatores de crescimento liberados pelos concentrados plaquetários incluem: PDGF (fator de crescimento derivado de plaquetas), com ação mitogênica e quimiotática para células mesenquimais; TGF- β 1 e TGF- β 2 (fatores de crescimento transformantes beta), com papel central na diferenciação osteoblástica e síntese de colágeno; VEGF (fator de crescimento endotelial vascular), fundamental para a angiogênese e a vascularização do enxerto; IGF (fator de crescimento semelhante à insulina), com efeitos tróficos sobre osteoblastos; e EGF (fator de crescimento epidérmico), que estimula a proliferação de células

epiteliais e endoteliais. A liberação desses fatores ocorre de forma bifásica: liberação rápida nas primeiras horas, com pico em 24–48 horas, seguida de liberação sustentada por até duas a três semanas pela degradação gradual da matriz de fibrina (OLIVEIRA et al., 2022; BEZERRA et al., 2026).

O estudo de Paul et al. (2022) demonstrou que a associação de L-PRF a enxertos ósseos autógenos em procedimentos de aumento de crista alveolar favorece significativamente a qualidade e a velocidade da neoformação óssea, com redução do edema e da dor pós-operatória. Amorim, Felizardo e Sá (2024) reportaram resultados clínicos e radiográficos favoráveis com a associação de L-PRF e aloenxerto particulado na reconstrução de maxila total atrófica, evidenciando o potencial desta combinação em casos de maior complexidade. A formulação i-PRF, ao permanecer em estado líquido por poucos minutos antes da polimerização, pode ser misturada com biomateriais particulados para produzir o chamado "sticky bone", uma mistura coesa de enxerto e concentrado plaquetário que facilita o manuseio e a adaptação ao defeito ósseo irregular (OLIVEIRA et al., 2022).

Entre as principais vantagens dos concentrados plaquetários destacam-se: custo relativamente baixo, uma vez que o material é obtido do próprio paciente por procedimento simples de coleta sanguínea; facilidade e rapidez de obtenção; ausência de risco de transmissão de doenças; ausência de reações imunológicas; e potencial de modular positivamente a resposta inflamatória local, reduzindo a inflamação pós-operatória. A versatilidade de uso, como membrana, como enxerto misturado ao substituto ósseo ou como condicionamento de tecidos moles, amplia consideravelmente as

possibilidades de aplicação clínica (KERHWALD et al., 2021; BEZERRA et al., 2026).

3.5. Biomateriais de Última Geração

O avanço das ciências dos materiais tem proporcionado o desenvolvimento de biomateriais de nova geração com propriedades biológicas e mecânicas progressivamente superiores às dos substitutos ósseos convencionais. A pesquisa neste campo converge para três objetivos principais: aumentar o potencial osteogênico e osteoindutor dos biomateriais, historicamente apenas osteocondutores, aprimorar sua biocompatibilidade e resposta tecidual, e desenvolver sistemas que permitam a liberação controlada de agentes terapêuticos diretamente no sítio de regeneração (GARANTIZADO et al., 2025; NEVES; SANTINONI; MORI, 2021).

A hidroxiapatita sintética (HA) representa o biomaterial aloplástico mais amplamente estudado e utilizado. Sua composição química, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, é idêntica à fase mineral do osso humano, conferindo excelente biocompatibilidade e capacidade de osteointegração. As formulações modernas de HA com estrutura nanocristalina mimetizam mais fielmente a nanoarquitetura do tecido ósseo natural, apresentando maior área de superfície e melhor interação celular. O β -fosfato tricálcico (β -TCP) é progressivamente utilizado como alternativa ou em associação bifásica com a HA (hidroxiapatita bifásica — BHA), por apresentar taxa de biodegradação mais rápida e controlada, compatível com a neoformação óssea progressiva (NEVES; SANTINONI; MORI, 2021; GARANTIZADO et al., 2025).

Os vidros bioativos, como o Bioglass® 45S5, promovem ligação química direta com os tecidos ósseo e mole por meio da formação de uma camada superficial de hidroxicarbonato apatita na interface implante-tecido, fenômeno que não ocorre com a HA convencional. Adicionalmente, a liberação iônica de silício, cálcio e fósforo a partir dos vidros bioativos exerce efeito bioativo direto sobre os osteoblastos, estimulando sua proliferação e diferenciação, característica que confere a esses materiais um potencial osteogênico adicional além da mera osteocondução. Os biomateriais híbridos, que combinam HA ou TCP com polímeros naturais como colágeno, fibrina ou ácido hialurônico, têm demonstrado propriedades mecânicas e biológicas superiores às dos componentes isolados, representando tendência crescente no desenvolvimento de substitutos ósseos de nova geração (NEVES; SANTINONI; MORI, 2021).

3.6. Impressão Tridimensional na Reconstrução Alveolar

A impressão tridimensional (3D), também denominada fabricação aditiva, compreende um conjunto diverso de tecnologias que permitem a criação de objetos tridimensionais complexos por deposição ou sinterização sucessiva de camadas ultrafinas de material a partir de um modelo digital previamente construído em software de computador (CAD — Computer Aided Design). Aplicada à odontologia reconstrutiva, esta tecnologia tem sido utilizada para a produção de scaffolds ósseos customizados com geometria e porosidade controladas, malhas de titânio personalizadas, guias cirúrgicos para planejamento e execução de implantes, e dispositivos de distração osteogênica adaptados à anatomia específica de cada paciente (IVANOVSKI et al., 2023; VAQUETTE; MITCHELL; IVANOVSKI, 2022).

As principais tecnologias de impressão 3D empregadas na regeneração óssea alveolar incluem: a estereolitografia (SLA) e o processamento digital de luz (DLP) para resinas fotopolimerizáveis; a sinterização seletiva a laser (SLS) para materiais poliméricos e cerâmicos; a modelagem por deposição fundida (FDM) para polímeros termoplásticos como PLA e PCL; e a fusão seletiva por feixe de laser (SLM) e a fusão por feixe de elétrons (EBM) para metais biocompatíveis como o titânio grau 5 (Ti-6Al-4V) e o cobalto-cromo. Para scaffolds cerâmicos de HA e TCP, a impressão por extrusão direta (DIW — Direct Ink Writing) e a sinterização seletiva a laser têm demonstrado os melhores resultados em termos de resolução e propriedades mecânicas (RAYMOND et al., 2022; IVANOVSKI et al., 2023).

O controle preciso da microarquitetura do scaffold é um dos principais diferenciais da impressão 3D em relação aos biomateriais convencionais. A possibilidade de definir digitalmente o tamanho, a forma, a distribuição e a interconectividade dos poros permitem a otimização das condições para a colonização celular, a vascularização e a neoformação óssea. Estudos *in vitro* e *in vivo* demonstram que macroporos de 300 a 600 μm com alta interconectividade favorecem a penetração de vasos sanguíneos e a migração de células osteoprogenitoras para o interior do scaffold, enquanto microporos de 0,5 a 10 μm aumentam a superfície disponível para adsorção de proteínas e adesão celular (IVANOVSKI et al., 2023; VAQUETTE; MITCHELL; IVANOVSKI, 2022).

A revisão de Ivanovski et al. (2023), forneceu uma análise abrangente das oportunidades e dos desafios da impressão 3D na regeneração óssea, destacando que a principal limitação atual é a vascularização inadequada de scaffolds volumosos, aspecto crítico para a

sobrevivência das células colonizadoras no centro das estruturas. Os estudos de Perez et al. (2023), Ivanovski et al. (2024) e Schöneegg et al. (2024) documentaram casos clínicos com scaffolds impressos em 3D demonstrando viabilidade e eficácia em situações selecionadas, com boa integração e formação óssea confirmadas radiográfica e histologicamente. O trabalho de Systemans et al. (2025) avaliou a osseointegração de implantes instalados após aumento mandibular com blocos de HA impressos em 3D, obtendo resultados iniciais favoráveis (PEREZ et al., 2023; IVANOVSKI et al., 2024).

3.7. Engenharia Tecidual e Células-tronco Mesenquimais

A engenharia tecidual aplicada à regeneração óssea alveolar fundamenta-se no paradigma triangular proposto por Langer e Vacanti (1993), que combina três elementos essenciais: (1) uma estrutura de suporte tridimensional, o scaffold, que serve como arcabouço para a organização celular e a neoformação tecidual; (2) células com potencial osteogênico, preferencialmente células-tronco mesenquimais (CTMs); e (3) sinais bioativos, fatores de crescimento, estímulos mecânicos, gradientes de oxigênio, que orquestram a diferenciação celular, a síntese de matriz extracelular e a organização do novo tecido ósseo. A integração desses três componentes em uma abordagem coordenada representa o objetivo central da engenharia tecidual óssea (PÉREZ-LEAL et al., 2022).

As células-tronco mesenquimais (CTMs) constituem a população celular mais promissora para a terapia celular em regeneração óssea. Definidas por critérios estabelecidos pelo International Society for Cell and Gene Therapy (ISCT), as CTMs são células multipotentes de origem mesenquimal, aderentes ao plástico, que expressam

marcadores de superfície característicos (CD73, CD90, CD105) e são capazes de se diferenciar *in vitro* em osteoblastos, condrócitos e adipócitos. Além da capacidade diferenciadora, as CTMs exercem potentes efeitos paracrinais e imunomoduladores, secretando um vasto repertório de citocinas anti-inflamatórias, fatores de crescimento e vesículas extracelulares que modulam o microambiente local de forma favorável à regeneração (PÉREZ-LEAL et al., 2022; SILVA et al., 2026).

As principais fontes de CTMs utilizadas em estudos de regeneração óssea alveolar incluem: medula óssea (células-tronco mesenquimais da medula óssea — BMMSCs), considerada a fonte de referência; tecido adiposo obtido por lipoaspiração (células estromais derivadas do tecido adiposo — ADSCs), fonte mais acessível e abundante; polpa dentária (DPSCs); membrana periodontal (PDLSCs); folículo dental; e periósteo. As ADSCs têm recebido atenção crescente pela facilidade de obtenção, alto rendimento celular e capacidade osteogênica demonstrada em estudos experimentais (LAU et al., 2023; SILVA et al., 2026).

O estudo piloto de Lau et al. (2023), conduzido em modelo suíno, avaliou a associação de scaffolds impressos em 3D com CTMs derivadas do tecido adiposo para aumento de rebordo alveolar, demonstrando formação óssea satisfatória com integração tecidual adequada, evidenciando o potencial sinérgico desta combinação tecnológica. A revisão sistemática de Pérez-Leal et al. (2022) concluiu que, embora as evidências experimentais em modelos animais sejam consistentemente favoráveis, os dados clínicos humanos sobre a eficácia das células-tronco na reabilitação óssea em pacientes com atrofia alveolar são ainda insuficientes para recomendações de uso rotineiro, ressaltando a necessidade de

ensaios clínicos randomizados com grupos controle adequados e seguimento de longo prazo. Silva et al. (2026) identificaram os principais desafios metodológicos e regulatórios que limitam a implementação clínica atual desta abordagem, incluindo ausência de padronização nos protocolos de isolamento e expansão celular, questões de segurança relacionadas ao potencial tumorigênico, e custos elevados de produção que inviabilizam a disseminação ampla da tecnologia (PÉREZ-LEAL et al., 2022; SILVA et al., 2026).

3.8. Exossomos e Medicina Regenerativa

Os exossomos são vesículas extracelulares de pequeno diâmetro (30–150 nm), geradas pela fusão de corpos multivesiculares intracelulares com a membrana plasmática e subsequente liberação para o meio extracelular. Diferentemente de simples fragmentos de membrana, os exossomos possuem composição molecular altamente específica, incluindo proteínas de superfície, lipídeos de membrana, mRNA, microRNA (miRNA) e DNA, que reflete a identidade e o estado funcional da célula de origem, conferindo-lhes capacidade de comunicação intercelular altamente direcionada e eficaz (SILVA et al., 2026).

Na biologia óssea, exossomos derivados de células-tronco mesenquimais têm demonstrado, em modelos experimentais, capacidade de estimular a proliferação e diferenciação de osteoblastos, inibir a diferenciação de osteoclastos e promover a angiogênese indispensável para a neoformação óssea. A transferência de miRNAs específicos, como miR-196a, miR-21 e miR-148b, aos osteoprogenitores receptores por meio dos exossomos modula vias de sinalização críticas para a osteogênese, incluindo as vias Wnt/ β -catenina, BMP/Smad e PI3K/AKT. Esses mecanismos

sugerem que parte significativa dos efeitos terapêuticos das CTMs é mediada por mecanismo parácrino, independente do enxerto e da diferenciação direta das células transplantadas (SILVA et al., 2026).

A principal vantagem teórica dos exossomos em relação à terapia celular convencional reside na maior segurança do ponto de vista do risco tumorigênico, uma vez que são vesículas acelulares, não apresentam potencial de divisão descontrolada, aliada à possibilidade de produção, armazenamento e padronização em escala industrial, o que poderia viabilizar um "off-the-shelf product" de regeneração óssea. Entretanto, os dados disponíveis sobre a aplicação de exossomos na regeneração óssea alveolar humana são ainda exclusivamente de caráter experimental, sem ensaios clínicos publicados até o período de busca desta revisão. A tecnologia encontra-se em estágio inicial de desenvolvimento translacional, com importantes desafios relacionados à padronização dos métodos de isolamento e caracterização, ao scale-up da produção e ao estabelecimento de perfis de segurança e eficácia em modelos de maior complexidade antes de sua aplicação clínica (SILVA et al., 2026).

3.9. Inteligência Artificial e Planejamento Virtual

A inteligência artificial (IA) e as tecnologias de planejamento digital tridimensional representam uma revolução transversal em curso na odontologia e na cirurgia bucomaxilofacial, com impacto crescente sobre todos os aspectos do tratamento reconstrutivo do rebordo alveolar. Estas tecnologias não substituem as técnicas cirúrgicas per se, mas transformam profundamente a forma como os procedimentos são planejados, simulados, executados e acompanhados (IVANOVSKI et al., 2023; CHIAPASCO et al., 2021).

O planejamento digital tridimensional, realizado em softwares dedicados a partir de dados de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e, mais recentemente, integrando escaneamentos intraorais digitais, permite a visualização e a manipulação precisa do defeito ósseo em suas três dimensões, a simulação virtual da reconstrução proposta e o design digital de todos os dispositivos necessários ao procedimento (scaffolds, malhas de titânio, guias cirúrgicos). Esta abordagem reduz o tempo de planejamento, aumenta a precisão da execução cirúrgica e melhora a comunicação com o paciente, que pode visualizar o resultado previsto antes da intervenção (IVANOVSKI et al., 2023; ELBORAEY et al., 2025).

A inteligência artificial tem sido aplicada ao planejamento de implantes e reconstruções ósseas para: segmentação automatizada de imagens tomográficas, com identificação e delineamento automático de estruturas anatômicas críticas; detecção de padrões e anomalias em exames de imagem; predição de resultados cirúrgicos com base em dados de estudos anteriores; otimização do posicionamento de implantes considerando variáveis biomecânicas; e geração automatizada de guias cirúrgicos customizados. Embora a literatura sobre IA aplicada especificamente à reconstrução alveolar ainda seja escassa e predominantemente preliminar, as perspectivas são promissoras para um futuro próximo de cirurgias cada vez mais personalizadas, precisas e previsíveis (ELBORAEY et al., 2025; IVANOVSKI et al., 2023).

3.10. Proteínas Morfogenéticas Ósseas Recombinantes (rhBMP-2) e Malha de Titânio

O trabalho de KIM, Y. W. et al (2025) destaca que a reconstrução de rebordos alveolares atróficos continua sendo um dos maiores desafios da implantodontia contemporânea, especialmente em defeitos horizontais e verticais severos. Nesse contexto, o uso da proteína morfogenética óssea recombinante humana tipo 2 (rhBMP-2) tem recebido atenção crescente devido à sua capacidade osteoindutora, estimulando a diferenciação de células mesenquimais em osteoblastos e promovendo a formação de novo tecido ósseo. Associada a enxertos alógenos e xenógenos, a rhBMP-2 pode reduzir a necessidade de áreas doadoras autógenas, diminuindo a morbidade cirúrgica e ampliando as possibilidades de reconstrução óssea em pacientes com perdas extensas de volume alveolar. (KIM, Y. W. et al 2025)

Além disso, os autores relatam que a utilização de malhas de titânio pré-formadas tridimensionais representa um avanço importante nas técnicas de regeneração óssea guiada. Essas estruturas oferecem maior estabilidade mecânica ao enxerto, mantêm o espaço necessário para a neoformação óssea e apresentam adaptação anatômica mais precisa ao defeito, reduzindo o tempo cirúrgico e a necessidade de modelagem intraoperatória. A combinação entre malha de titânio pré-fabricada, biomateriais particulados e rhBMP-2 demonstrou resultados promissores em ganhos ósseos verticais e horizontais, favorecendo a instalação posterior de implantes dentários em áreas previamente consideradas inadequadas para reabilitação implantossuportada. Apesar dos resultados encorajadores, os autores ressaltam a necessidade de estudos clínicos controlados e de longo prazo para confirmar a previsibilidade e a segurança dessa abordagem terapêutica. (KIM, Y. W. et al 2025).

4. RESULTADOS

A literatura analisada aponta para um cenário tecnológico amplo e diverso, onde técnicas consolidadas, com várias décadas de evidência clínica, coexistem com abordagens emergentes que ainda estão sendo validadas em contextos de translacional. Os trabalhos aqui incluídos vão de revisões sistemáticas e ensaios clínicos randomizados a relatos de caso, representando os distintos níveis de maturidade científica das tecnologias analisadas. O (Quadro 1) sintetiza as principais pesquisas selecionadas, organizadas conforme a tecnologia mencionada.

Quadro 1 – Síntese dos principais estudos incluídos na revisão sobre tecnologias para aumento de rebordo alveolar atrófico

Autor(es)/Ano	Tipo de Estudo	Tecnologia/Técnica	Principais Resultados	Conclusão
Amorim; Felizardo; Sá (2024)	Relato de Caso	L-PRF + aloenxerto em maxila total atrófica	Reconstrução bem-sucedida com excelente integração e neoformação óssea	Combinação L-PRF + aloenxerto é alternativa viável para reconstrução extensa de maxilas
Anjos et al. (2022)	Revisão Integrativa	ROG em odontologia	ROG com e sem enxerto apresentou bons resultados; associação superior em defeitos maiores	ROG é técnica consolidada e indicada para ampla gama de defeitos alveolares

Araújo et al. (2023)	Revisão./Série de Casos	All-on-4 com cirurgia guiada	Planejamento digital aumenta precisão e reduz complicações intraoperatórias	Cirurgia guiada potencializa o protocolo All-on-4 com maior previsibilidade
Chatelet; Afota; Savoldelli (2021)	Revisão Narrativa	Enxerto autógeno em bloco vs. ROG	Taxa de sobrevivência comparável; ROG com menor morbidade	ROG preferível em defeitos moderados; autógeno reservado para grandes volumes
Chiapasco et al. (2021)	Estudo Clínico Retrospectivo	Malhas CAD/CAM em defeitos severos	Ganho ósseo significativo; altas taxas de sucesso de implantes em defeitos críticos	Malhas CAD/CAM são solução de eleição para defeitos tridimensionais complexos
Cisternas-Covarrubias et al. (2023)	Série de Casos	Oseodensificação no maxilar posterior	Expansão e condensação óssea eficiente; menor tempo cirúrgico	Oseodensificação é opção válida para implantação em osso de baixa densidade
Elboraey et al. (2025)	Revisão Abrangente	Múltiplas abordagens regenerativas	ROG e biomateriais com melhores evidências; 3D e células-tronco como tendências	Decisão clínica deve ser individualizada conforme extensão do defeito e

				recursos disponíveis
Ferreira et al. (2024)	Revisão De Literatura	ROG e aumento ósseo vertical	ROG com malhas de titânio demonstrou ganhos verticais previsíveis e estáveis	ROG permanece padrão-ouro para aumento vertical em casos bem selecionados
Gao et al. (2022)	Revisão Narrativa	Membranas biodegradáveis modificadas	Modificações com minerais, polímeros e bioativos melhoram desempenho regenerativo	Membranas biodegradáveis de nova geração são alternativa viável às não absorvíveis
Garantizado et al. (2025)	Revisão de Literatura	Biomateriais para preservação alveolar	Biomateriais modernos com nanotextura reduzem necessidade de sítio doador	Biomateriais sintéticos de nova geração equiparam-se a xenoenxertos em indicações selecionadas
Ivanovski et al. (2023)	Revisão Narrativa	Impressão 3D para regeneração óssea	Alta previsibilidade e com biomateriais; vascularização de scaffolds é desafio persistente	Fabricação 3D é uma tecnologia transformadora com potencial crescente na regeneração óssea

Ivanovski et al. (2024)	Relato de Caso Clínico	Scaffold 3D reabsorvível customizado	Regeneração bem-sucedida pré-implante; boa adaptação anatômica	Impressão 3D viabiliza personalização anatômica precisa com boa previsibilidade e clínica
Kämmerer et al. (2022)	Série de Casos Multicêntrica	Shell technique alogênica (>300 casos)	Alta taxa de sucesso; eliminação da morbidade do sítio doador	Técnica reproduzível com previsibilidade e clínica satisfatória e larga escala documentada
Kerhwald et al. (2021)	Revisão de Literatura	L-PRF em enxertos e implantes	L-PRF acelerou cicatrização e potencializou formação óssea em combinação com enxertos	L-PRF é adjuvante biológico acessível com benefício na regeneração
Kim et al. (2025)	Revisão Narrativa + Rel. Técnico	rhBMP-2 + malha ti + aloenxerto	Ganho ósseo horizontal e vertical expressivo em casos complexos	rhBMP-2 potencializa resultados quando associado a scaffolds e malhas de titânio
Kormas et al. (2022)	Revisão. Narrativa	Membranas biocompatíveis em cirurgia oral	Membranas de nova geração com propriedades ativas superiores	Membranas ativas representam evolução promissora com

				necessidade de validação clínica
Lau et al. (2023)	Estudo Piloto (suínos)	Scaffolds 3D + CTMs adiposas	Formação óssea satisfatória com integração tecidual adequada	Combinação scaffolds 3D + células-tronco promissora para reconstruções extensas
Marson; Sá; Farias (2023)	Revisão de Literatura	All-on-4 em maxila atrófica	Reabilitação completa sem enxerto com altas taxas de sobrevida	All-on-4 é alternativa consolidada para maxilas com atrofia severa
Neves; Santinoni; Mori (2021)	Revisão de Literatura	Biomateriais sintéticos e impressão 3D	HA e TCP com osteocondução satisfatória; impressão 3D amplia personalização	Combinação biomaterial sintético + fabricação digital representa tendência consolidada
Oliveira et al. (2022)	Revisão Integrativa	i-PRF + xenoenxerto em cirurgias	Formação óssea consistente com liberação prolongada de fatores de crescimento	i-PRF (sticky bone) amplia versatilidade dos concentrados plaquetários em defeitos irregulares
Oliveira et al. (2024)	Revisão Sistemática	Técnica de Khoury	Ganho vertical médio 4–8 mm; sucesso >90% na	Khoury é técnica eficaz para ganhos verticais expressivos

			sobrevida de implantes	com alta previsibilidade
Paul et al. (2022)	Estudo Clínico	Enxerto autógeno + PRF para implantes	Associação favoreceu qualidade e velocidade da neoformação óssea	PRF potencializa enxertos autógenos e melhora prognóstico clínico
Perez et al. (2023)	Série de Casos	Blocos sintéticos impressos em 3D	Boa integração óssea; formação de novo tecido confirmada histologicamente	Scaffolds sintéticos 3D são opção válida sem morbidade de sítio doador
Pérez-Leal et al. (2023)	Revisão Sistemática	Células-tronco na atrofia alveolar	Evidências animais promissoras; dados clínicos humanos limitados e heterogêneos	Alto potencial; necessita ensaios clínicos controlados de longo prazo para validação
Romito et al. (2022)	ECA (não inferioridade)	Bloco autógeno vs. xenógeno colagenado	Xenógeno não inferior ao autógeno; menor morbidade de sítio doador	Xenógeno colagenado é alternativa segura e eficaz ao padrão-ouro autógeno
Santos et al. (2024)	Revisão de Literatura	All-on-4 híbrido + implante pterigóide	Suporte posterior estável sem enxerto em maxilas	Implante pterigóide amplia indicações e

			severamente atroficas	evita enxertos maxilares
Sasaki et al. (2021)	Revisão Integrativa	Membranas de barreira em regeneração tecidual	Absorvíveis: menor morbidade; não absorvíveis: maior estabilidade espacial	Seleção deve considerar extensão do defeito e tempo de regeneração necessário
Silva et al. (2026)	Revisão Integrativa	CTMs para aumento de rebordo	Potencial osteogênico elevado; desafios metodológicos e regulatórios importantes	Terapia celular é fronteira inovadora com obstáculos reais à implantação clínica
Simundi; Simundi (2025)	Revisão Bibliográfica	Aumento vertical de rebordo maxilar	ROG e enxertos com resultados favoráveis no aumento vertical	Seleção da técnica deve considerar volume ósseo remanescente e localização do defeito
Solomon et al. (2022)	Revisão Descritiva	Membranas de barreira em ROG	Nenhuma membrana isolada preenche todos os requisitos ideais	Associação membrana+enxerto é protocolo com maior evidência clínica atual
Toledano-Osorio et al. (2021)	Revisão Narrativa	Membranas ativas para ROG	Membranas com nanopartículas e fatores de crescimento	Tecnologia promissora; validação clínica em larga escala

			mostraram potencial osteogênico adicional	ainda necessária
Vaquette; Mitchell; Ivanovski (2022)	Revisão Narrativa	Fabricação aditiva no aumento vertical	Scaffolds cerâmicos e poliméricos com osteocondução satisfatória	Fabricação aditiva é tecnologia promissora especialmente para aumentos verticais
Ximenes et al. (2022)	Revisão Integrativa	ROG com membranas não absorvíveis	Preservação eficaz do rebordo pós-exodontia; manutenção volumétrica satisfatória	Membranas não absorvíveis indicadas em defeitos de maior porte e aumento vertical
Zeferino; Dal Paz; Battistella (2023)	Revisão de Literatura	ROG: fundamentos e aplicações	Membranas absorvíveis e não absorvíveis com indicações específicas e bem definidas	ROG permanece como pilar da regeneração óssea com evidências robustas

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A análise dos estudos permitiu identificar dez categorias tecnológicas principais para o aumento de rebordo alveolar atrófico:

1. Regeneração óssea guiada (ROG) com membranas de barreira;

2. Técnica de Khoury;
3. Shell technique;
4. Malhas de titânio customizadas por CAD/CAM;
5. Impressão tridimensional e scaffolds customizados;
6. Proteínas morfogenéticas ósseas recombinantes (rhBMP-2);
7. Concentrados plaquetários (PRF, L-PRF e i-PRF);
8. Engenharia tecidual com células-tronco mesenquimais;
9. Oseodensificação;
10. Técnicas alternativas para maxilas atróficas graves, incluindo All-on-4, implantes zigomáticos e pterigóideos.

A distribuição das tecnologias mostra que as abordagens baseadas em ROG, enxertos e concentrados plaquetários dominam o maior número de publicações e o mais alto nível de evidência, ao passo que tecnologias como engenharia tecidual, exossomos e IA ainda se encontram em fase de pesquisa e desenvolvimento translacional.

5. DISCUSSÃO

5.1. Regeneração Óssea Guiada: Consolidação e Inovação

A ROG permanece como a abordagem com o maior volume de evidências científicas consolidadas para o aumento de rebordo alveolar. Sua eficácia em defeitos de moderada extensão está bem documentada em inúmeras revisões sistemáticas e metanálises,

com altas taxas de sobrevivência de implantes instalados após o procedimento. A seleção da membrana adequada, absorvível para defeitos menores com suporte ósseo bilateral, e reforçada com titânio para defeitos maiores e sem suporte lateral, continua sendo um dos principais determinantes do resultado clínico (ANJOS et al., 2022; ZEFERINO; DAL PAZ; BATTISTELLA, 2023).

O desenvolvimento de membranas de nova geração com propriedades ativas representa a mais significativa inovação recente neste campo. A incorporação de nanopartículas antimicrobianas, fatores de crescimento e sistemas de liberação controlada amplia o potencial biológico das membranas para além da simples barreira física, aproximando-as das propriedades de um verdadeiro dispositivo de engenharia tecidual. Toledano-Osorio et al. (2021) e Gao et al. (2022) documentaram resultados promissores com estas formulações em modelos experimentais, porém ensaios clínicos de longo prazo são imprescindíveis antes de sua adoção plena na prática clínica (TOLEDANO-OSORIO et al., 2021; GAO et al., 2022).

Em termos de acessibilidade e custo-benefício, a ROG com membranas de colágeno comercialmente disponíveis e biomateriais xenógenos constitui a abordagem com melhor relação entre eficácia documentada, custo acessível e morbidade reduzida para a maioria dos casos de aumento alveolar de moderada extensão. Sua principal limitação permanece sendo a menor previsibilidade em defeitos verticais extensos, situação em que técnicas de suporte rígido, como malhas de titânio ou a técnica de Khoury, demonstram resultados superiores.

5.2. Técnica de Khoury e Shell Technique: Complementaridade e Indicações

A técnica de concha óssea de Khoury e a shell technique com aloenxertos representam abordagens complementares para o aumento ósseo tridimensional, particularmente eficazes em situações em que a ROG com membranas apresenta limitações, especialmente nos ganhos verticais superiores a 5 mm na mandíbula posterior atrofada. A revisão sistemática de Oliveira et al. (2024) demonstrou que a técnica de Khoury proporciona ganhos verticais médios de 4 a 8 mm com taxas de sucesso de implantes superiores a 90%, representando um dos melhores resultados documentados para o aumento vertical mandibular. O ensaio clínico de Shaker et al. (2024) que comparou a técnica de Khoury com a membrana de PTFE reforçada com titânio demonstrou resultados comparáveis entre as abordagens, com vantagens e desvantagens específicas para cada técnica que devem orientar a seleção caso a caso (OLIVEIRA et al., 2024).

A shell technique com aloenxertos, documentada em larga escala pelo estudo multicêntrico de Kämmerer et al. (2022) com mais de 300 casos, representa uma evolução estratégica: ao substituir as lâminas autógenas por cascas de aloenxerto cortical processado, elimina completamente a morbidade do sítio doador, mantendo ganhos ósseos comparáveis. Esta abordagem responde a uma das principais críticas ao protocolo de Khoury original, a morbidade e o risco associados à coleta das lâminas autógenas. A desvantagem principal da shell technique com aloenxertos é o custo mais elevado dos materiais e a dependência da disponibilidade de banco de osso certificado, o que pode limitar o acesso em determinados contextos (KÄMMERER et al., 2022).

5.3. Malhas de Titânio CAD/CAM: A Nova Geração do Suporte Rígido

As malhas de titânio customizadas por CAD/CAM representam evolução tecnológica significativa em relação às malhas pré-fabricadas convencionais. O estudo de referência de Chiapasco et al. (2021), um dos trabalhos mais influentes da literatura neste tema, demonstrou claramente a superioridade das malhas personalizadas sobre as convencionais em termos de adaptação anatômica, precisão do contorno final e previsibilidade do ganho ósseo. A técnica TACOS descrita por Merli et al. (2025) e os relatos de Ronda et al. (2024) representam desenvolvimentos recentes que buscam sistematizar o uso clínico dessas malhas e reduzir a incidência da principal complicação, a exposição precoce da malha através da mucosa oral, que ocorre em 15–25% dos casos conforme relatado na literatura e pode comprometer parcialmente o resultado se não for manejada prontamente (CHIAPASCO et al., 2021; MERLI et al., 2025; RONDA et al., 2024).

A associação entre malhas de titânio customizadas e rhBMP-2, documentada por Kim et al. (2025), demonstra o potencial sinérgico de combinar o suporte mecânico rígido das malhas com o poder osteoindutor da proteína morfogenética recombinante. Os resultados preliminares desta combinação em casos de aumento horizontal e vertical expressivo são promissores, embora o custo da rhBMP-2 e os cuidados necessários com a dose para evitar efeitos adversos representem limitações relevantes à sua adoção rotineira (KIM et al., 2025).

5.4. Impressão 3D: Personalização com Desafios de Vascularização

A impressão tridimensional ocupa posição central nas perspectivas futuras do aumento alveolar, reunindo os princípios da

personalização anatômica precisa, da eliminação da morbidade do sítio doador e da possibilidade de integrar múltiplas funções em um único dispositivo. Os estudos de Perez et al. (2023) e Ivanovski et al. (2024) documentaram resultados clínicos favoráveis em casos selecionados, demonstrando a viabilidade desta abordagem. A revisão de Vaquette, Mitchell e Ivanovski (2022) analisou especificamente os avanços da fabricação aditiva no aumento vertical, apresentando perspectiva otimista, porém equilibrada sobre o potencial e os desafios desta tecnologia (PEREZ et al., 2023; IVANOVSKI et al., 2024; VAQUETTE; MITCHELL; IVANOVSKI, 2022).

O principal desafio técnico que limita a aplicação de scaffolds impressos em 3D em defeitos de maiores dimensões permanece sendo a vascularização inadequada do interior das estruturas. Sem uma rede vascular funcional, as células que colonizam o scaffold morrem por hipóxia e privação de nutrientes, inviabilizando a neoformação óssea nas regiões centrais da reconstrução. Estratégias em desenvolvimento para superar esta limitação incluem: a incorporação de canais vasculares no design do scaffold; o pré-vascularização in vitro por cocultura com células endoteliais antes da implantação; a adição de fatores angiogênicos como VEGF; e a combinação com concentrados plaquetários e CTMs no sítio receptor. A resolução deste desafio é considerada o passo mais crítico para a ampla aplicação clínica dos scaffolds impressos em 3D em defeitos ósseos extensos (IVANOVSKI et al., 2023).

5.5. Concentrados Plaquetários: Versatilidade e Acessibilidade

Entre todas as novas tecnologias analisadas, os concentrados plaquetários, especialmente o L-PRF e o i-PRF, representam aquela com melhor relação entre evidência clínica disponível, custo,

acessibilidade e facilidade de implementação. A obtenção a partir do sangue do próprio paciente, a ausência de riscos imunológicos e a simplicidade do protocolo de centrifugação tornam-nos acessíveis virtualmente em qualquer setting de cirurgia odontológica. Os resultados positivos documentados por Paul et al. (2022), Kerhwald et al. (2021), Amorim, Felizardo e Sá (2024) e Oliveira et al. (2022) em diferentes contextos clínicos, desde aumento de crista alveolar até levantamento de seio maxilar, reforçam a indicação dos concentrados plaquetários como adjuvantes biológicos de rotina em praticamente todos os procedimentos de regeneração óssea alveolar (PAUL et al., 2022; KERHWALD et al., 2021).

A principal limitação dos concentrados plaquetários refere-se ao fato de que, isoladamente, não são capazes de proporcionar ganhos ósseos significativos em defeitos de grande extensão, sendo, portanto, adjuvantes e não substitutos das técnicas de aumento ósseo propriamente ditas. A heterogeneidade dos protocolos de centrifugação e das formulações disponíveis comercialmente representa desafio adicional à comparação rigorosa entre estudos e ao estabelecimento de recomendações precisas sobre indicações e técnicas.

5.6. Engenharia Tecidual e Células-tronco: Potencial Transformador com Obstáculos Reais

A engenharia tecidual com células-tronco mesenquimais representa, inquestionavelmente, a abordagem com maior potencial transformador para a regeneração óssea alveolar a médio e longo prazo. A capacidade das CTMs de se diferenciar em osteoblastos, de secretar fatores de crescimento que estimulam a regeneração endógena e de modular a resposta imune de forma

favorável ao processo regenerativo confere a esta abordagem uma versatilidade biológica incomparável. O estudo piloto de Lau et al. (2023) forneceu o embasamento científico fundamental para o desenvolvimento desta linha de pesquisa (LAU et al., 2023).

Entretanto, os obstáculos reais para a implementação clínica desta abordagem são substanciais e multidimensionais. Do ponto de vista técnico, os protocolos de isolamento, expansão e caracterização das CTMs ainda carecem de padronização internacional, resultando em heterogeneidade entre estudos que dificulta a comparação e a síntese dos resultados. Do ponto de vista regulatório, o uso de células para fins terapêuticos é altamente regulamentado em todos os países com sistemas de saúde estruturados, exigindo aprovações específicas, instalações certificadas e rastreabilidade completa do produto. Do ponto de vista econômico, o custo de produção das CTMs em padrão clínico é elevado, limitando o acesso à maioria dos pacientes. E do ponto de vista da segurança, o risco teórico, ainda que baixo com as formulações modernas, de transformação maligna de células transplantadas exige monitoramento rigoroso de longo prazo (PÉREZ-LEAL et al., 2022; SILVA et al., 2026).

5.7. Oseodensificação: Inovação Incremental para Casos Selecionados

A oseodensificação representa uma inovação incremental que, sem se configurar como uma tecnologia de aumento ósseo por si só, oferece vantagens concretas em contextos clínicos específicos, principalmente a instalação de implantes em osso tipo III e IV de Lekholm e Zarb, onde a estabilidade primária é frequentemente comprometida pela baixa densidade óssea. A condensação lateral e apical do osso esponjoso promovida pelas brocas Densah® cria uma

zona de osso compactado ao redor do leito implantar que aumenta a estabilidade primária e, conseqüentemente, as taxas de sucesso da osseointegração. A série de casos de Cisternas-Covarrubias et al. (2023) no maxilar posterior documentou resultados consistentes com esta abordagem (CISTERNAS-COVARRUBIAS et al., 2023; RODRIGUES et al., 2023).

5.8. Técnicas Alternativas para Maxilas Atróficas Graves: Quando Evitar o Enxerto

Para os casos de atrofia maxilar severa, onde a reconstrução óssea convencional implicaria procedimentos de grande porte com morbidade e riscos significativos, as técnicas alternativas que contornam a necessidade de enxertos volumosos representam opções com evidências crescentes e consolidadas. O protocolo All-on-4, com décadas de seguimento clínico documentadas na literatura, apresenta taxas de sobrevida de implantes e próteses consistentemente favoráveis em seguimentos de 5 a 10 anos, com qualidade de vida relatada pelos pacientes significativamente superior à das próteses totais convencionais (MARSON; SÁ; FARIAS, 2023).

A integração de implantes pterigóideos ao protocolo All-on-4, o denominado "All-on-4 híbrido", amplia as indicações para maxilas com atrofia ainda mais severa na região posterior, onde os implantes inclinados convencionais não encontram volume ósseo adequado. Santos et al. (2024) apresentaram série de casos com resultados favoráveis desta abordagem combinada, demonstrando que a utilização de implantes pterigóideos como âncoras posteriores elimina a necessidade de levantamento de seio maxilar na maioria

dos casos, com redução substancial da morbidade e do tempo de tratamento (SANTOS et al., 2024; MIRANDA et al., 2026).

A análise comparativa global das tecnologias discutidas mostra que não há uma única abordagem que seja superior em todos os contextos. A escolha da técnica mais apropriada deve ser baseada em uma avaliação personalizada de cada caso, levando em conta a extensão tridimensional do defeito, sua posição no arco (maxila vs. mandíbula, anterior vs. posterior), a condição de saúde geral do paciente, as características dos tecidos moles subjacentes, a experiência do profissional, a disponibilidade de recursos tecnológicos e a relação custo-benefício para cada situação específica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que ocorreram mudanças tecnológicas significativas no campo do aumento de rebordo alveolar atrófico ao longo das últimas décadas, com intensificação notável nos últimos cinco anos, período correspondente ao recorte temporal desta revisão. Atualmente, o profissional especializado conta com um arsenal terapêutico significativamente ampliado e diversificado, o que possibilita tratar defeitos ósseos de praticamente qualquer extensão e localização com boas perspectivas clínicas.

Dentre as tecnologias com respaldo científico consolidado, a regeneração óssea guiada com membranas de barreira, especialmente na versão vinculada a enxertos ósseos particulados, continua sendo o padrão-ouro para defeitos de extensão moderada, contando com décadas de documentação clínica e o mais alto nível de evidência disponível. Os concentrados plaquetários de segunda e

terceira geração (L-PRF e i-PRF) são adjuvantes biológicos de ampla aplicabilidade, com custo acessível e benefícios comprovados, devendo ser considerados como complemento a praticamente todos os protocolos de regeneração óssea. A técnica de Khoury, a shell technique e as malhas de titânio personalizadas por CAD/CAM proporcionam soluções eficientes para os casos desafiadores de aumento vertical ósseo extenso.

Entre as tecnologias emergentes, a impressão tridimensional de scaffolds customizados representa a mais promissora em termos de potencial de personalização e eliminação de morbidade, mas ainda enfrenta o desafio crítico da vascularização inadequada em defeitos volumosos. A engenharia tecidual com células-tronco mesenquimais e a terapia com exossomos representam as fronteiras mais inovadoras, com potencial de transformar radicalmente o campo no horizonte de dez a quinze anos, mas com obstáculos técnicos, regulatórios e econômicos substanciais a superar antes de sua implementação clínica rotineira.

Conclui-se que a escolha da tecnologia mais apropriada para cada situação deve ser fruto de uma análise crítica e personalizada, embasada nas melhores evidências disponíveis, nas particularidades do defeito, nas condições gerais do paciente e na experiência do operador. O progresso futuro nesta área provavelmente se concentrará em métodos mais personalizados, biologicamente inteligentes e minimamente invasivos, com uma integração cada vez maior entre planejamento digital, inteligência artificial, fabricação aditiva e medicina regenerativa. A execução de estudos clínicos randomizados com maior rigor metodológico e acompanhamento de longo prazo continua sendo uma necessidade essencial para a validação final das tecnologias emergentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Bruno Campos; FELIZARDO, Luiz Eduardo; SÁ, Thiago Soares de. Reconstrução de maxila total com o uso de L-PRF associado ao Alobone Poros para colocação de implantes osseointegráveis. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 7, n. 5, p. e74137, 2024. DOI: <https://doi.org/10.34119/bjhrv7n5-590>

ANJOS, Lucas Menezes dos *et al.* Enxertos ósseos em odontologia – uma revisão integrativa da literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e522101220954, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20954>

ANJOS, Lucas Menezes dos *et al.* O que há de atual sobre regeneração óssea guiada em odontologia: uma revisão integrativa. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 15, n. 4, p. e10096, 2022. DOI: <https://doi.org/10.25248/reas.e10096.2022>

ARAÚJO, C. *et al.* Reabilitação com implantes em maxila atrófica por meio de cirurgia guiada utilizando a técnica “All-on-four”. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 5, p. e27512541725-e27512541725, 28 maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i5.41725>

BEZERRA, R. V. *et al.* L-PRF como material preenchedor no levantamento do assoalho do seio maxilar: avaliação da viabilidade e revisão da literatura. **Journal of Multidisciplinary Dentistry**, v. 15, n. 3, p. 79–85, 10 fev. 2026. DOI: <https://doi.org/10.46875/jmd.v15i3.1422>

CHATELET, M.; AFOTA, F.; SAVOLDELLI, C. Review of bone graft and implant survival rate : A comparison between autogenous bone block versus guided bone regeneration. **Journal of Stomatology**,

Oral and Maxillofacial Surgery, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2021.04.009>

CHIAPASCO, M. et al. Customized CAD/CAM titanium meshes for the guided bone regeneration of severe alveolar ridge defects: Preliminary results of a retrospective clinical study in humans. **Clinical Oral Implants Research**, v. 32, n. 4, p. 498–510, 1 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/clr.13720>

CISTERNAS-COVARRUBIAS, S. et al. Evaluación de Cambios Dimensionales en Ancho y Altura del Reborde Óseo Alveolar Mediante la Técnica de Oseodensificación en Zonas Posteriores del Maxilar. Reporte de Serie de Casos. **International journal of odontostomatology**, v. 17, n. 1, p. 55–63, 1 mar. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2023000100055>

DOMINGUITO, W. F. et al. AUMENTO DE TECIDOS DUROS NA RECONSTRUÇÃO DO OSSO ALVEOLAR ESTRATÉGIAS REGENERATIVAS APLICADAS A IMPLANTODONTIA. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 8, n. 5, p. 960–974, 15 maio 2026. DOI: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n5p960-974>

ELBORAEY, M. O. et al. Regenerative approaches in alveolar bone augmentation for dental implant placement: Techniques, biomaterials, and clinical decision-making: A comprehensive review. **Journal of Dentistry**, p. 105612–105612, 1 fev. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105612>

FERREIRA, L. et al. REGENERAÇÃO ÓSSEA GUIADA & EVIDÊNCIAS SOBRE AUMENTO ÓSSEO VERTICAL. **Revista CPAQV - Centro de**

Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida, v. 16, n. 2, p. 14–14, 11 jul. 2024. DOI: <https://doi.org/10.36692/V16N2-100R>

GAO, Y. et al. Advances in Modification Methods Based on Biodegradable Membranes in Guided Bone/Tissue Regeneration: A Review. **Polymers**, v. 14, n. 5, p. 871, 23 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14050871>

GARANTIZADO, H. DA F.; OLIVEIRA, A. V. P. G.; MENEZES DO NASCIMENTO, J. V. O Estado da Arte na Preservação Óssea Alveolar com Biomateriais. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 7, n. 3, p. 2273–2306, 31 mar. 2025. DOI: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n3p2273-2306>

GIOVANI SOUZA VIEIRA et al. AVALIAÇÃO DA SOBREVIVÊNCIA DE IMPLANTES EM MAXILAS ATRÓFICAS COM E SEM ENXERTO ÓSSEO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 5, n. 4, p. 96–124, 31 jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2023v5n4p96-124>

IVANOVSKI, Saso et al. 3D printing for bone regeneration: challenges and opportunities for achieving predictability. **Periodontology 2000**, v. 93, n. 1, p. 358–384, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/prd.12525>

IVANOVSKI, Sašo et al. Alveolar bone regeneration using a 3D-printed patient-specific resorbable scaffold for dental implant placement: A case report. **Clinical Oral Implants Research**, v. 35, n. 12, p. 1655–1668, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/clr.14340>

KÄMMERER, P. W. et al. The allogeneic shell technique for alveolar ridge augmentation: a multicenter case series and experiences of

more than 300 cases. **International Journal of Implant Dentistry**, v. 8, n. 1, 1 nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40729-022-00446-y>

KERHWALD, R. et al. Uso de fibrina rica em plaqueta em enxerto ósseo e implantes dentários. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e56510112210, 31 jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12210>

KIM, Y. W. et al. Clinical Application of rhBMP-2 and Three-Dimensional Preformed Titanium Mesh with Allograft and Xenograft for Peri-Implant Horizontal and Vertical Bone Augmentation—A Narrative Review with Technical Report. **Journal of Clinical Medicine**, v. 14, n. 13, p. 4788–4788, 7 jul. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14134788>

KORMAS, I. et al. The Use of Biocompatible Membranes in Oral Surgery: The Past, Present & Future Directions. A Narrative Review. **Membranes**, v. 12, n. 9, p. 841, 29 ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes12090841>

LARISSA FOCHESTATTO RESTELATO. Tratamento de maxila atrófica - revisão de literatura. **Journal of Multidisciplinary Dentistry**, v. 11, n. 1, p. 40–8, 19 abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46875/jmd.v11i1.629>

LAU, C. S. et al. Alveolar Ridge Augmentation with a Novel Combination of 3D-Printed Scaffolds and Adipose-Derived Mesenchymal Stem Cells—A Pilot Study in Pigs. **Biomedicines**, v. 11, n. 8, p. 2274–2274, 16 ago. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines11082274>

LETICIA DE CARVALHO XIMENES, P. et al. REGENERAÇÃO ÓSSEA GUIADA COM MEMBRANAS NÃO ABSORVÍVEIS PARA

PRESERVAÇÃO DO REBORDO ALVEOLAR APÓS EXODONTIA. **Ensaio USF**, v. 4, n. 2, 24 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.24933/eusf.v4i2.191>

MARQUES DOS SANTOS, R. et al. ANÁLISE COMPARATIVA DAS TÉCNICAS DE REGENERAÇÃO ÓSSEA GUIADA PARA GANHO VERTICAL NA MANDÍBULA: REVISÃO DE LITERATURA. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 7, n. 10, p. 1447–1467, 23 out. 2025. DOI: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n10p1447-1467>

MARSON, Giordano; SÁ, Bruna Daniele Lima De; FARIAS, Giovanna Barzon De. Reabilitação de maxila edêntula e atrófica sem enxerto ósseo: Aplicabilidade da técnica all-on-4. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 5, n. 5, p. 1197–1207, 2023.

MERLI, M. et al. The TACOS Technique: A Stepwise Protocol for Alveolar Ridge Augmentation Using Customized Titanium Mesh. **Medicina**, v. 61, n. 1, p. 58, 2 jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicina61010058>

MIRANDA, P. R. P. et al. TÉCNICAS ALTERNATIVAS AO USO DE ENXERTOS NA REABILITAÇÃO DE MAXILAS ATRÓFICAS. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 8, n. 2, p. 277–296, 7 fev. 2026. DOI: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n2p277-296>

NASCIMENTO, Maria Misleyne da Silva *et al.* Cirurgia pré-protética para regularizar o rebordo maxilar: revisão integrativa da literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 7, n. 5, p. e72981, 2024. DOI: <https://doi.org/10.34119/bjhrv7n5-215>

NEVES, D. DE P.; SANTINONI, C. DOS S.; MORI, G. G. Materiais Sintéticos e Impressão 3D na Regeneração Óssea Alveolar. **ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION**, v. 11, n. 2, p. 304–317, 23 set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.21270/archi.v11i2.5559>

OLIVEIRA, A. A. DE et al. A utilização da técnica de Khoury para aumentos verticais de rebordos alveolares atróficos: Uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 8, p. e4713846383, 12 ago. 2024. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i8.46383>

OLIVEIRA, E. B. DE et al. Uso da fibrina rica em plaquetas injetável associada ao enxerto ósseo xenógeno para promover neofomação óssea em cirurgias odontológicas: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e1711527818, 28 mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.27818>

PAUL, N.; JYOTSNA, S.; KESHINI, M. Alveolar ridge augmentation using autogenous bone graft and platelet-rich fibrin to facilitate implant placement. **Contemporary Clinical Dentistry**, v. 13, n. 1, p. 90, 2022. DOI: https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_154_20

PEREZ, A. et al. Alveolar ridge augmentation with 3D -printed synthetic bone blocks: A clinical case series. **Clinical Case Reports**, v. 11, n. 4, p. e7171–e7171, 1 abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ccr3.7171>

PÉREZ-LEAL, M. et al. Efficacy of stem cells in bone rehabilitation in patients with alveolar bone atrophy: a systematic review. **Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal**, p. e247–e254, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4317/medoral.25667>

RAYMOND, Y. et al. Translation of three-dimensional printing of ceramics in bone tissue engineering and drug delivery. **MRS Bulletin**, v. 47, n. 1, p. 59–69, 1 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1557/s43577-021-00259-1>

RODRIGUES, É. D. R. et al. Instalação de implante em região posterior de maxila através da Técnica de Summers e osseodensificação: relato de caso. **Revista de Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial**, v. 23, n. 2, p. 49–52, 22 set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.70678/rctbmf.v23i2.38>

ROMITO, G. A. et al. Autogenous bone block versus collagenated xenogeneic bone block in the reconstruction of the atrophic alveolar ridge: A non-inferiority randomized clinical trial. **Journal of Clinical Periodontology**, v. 49, n. 11, p. 1158–1168, 26 jul. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcpe.13701>

RONDA, Marco; DESANTIS, Viviana; BRUNO, Diego; VENERIANO, Luca; ELLI, Camilla; PISPERO, Alberto. New-generation customized titanium meshes for the guided bone regeneration of severe alveolar ridge defects: preliminary results of a retrospective case series. **International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry**, v. 45, n. 6, p. 756–771, 2025. DOI: <https://doi.org/10.11607/prd.7246>

SANTOS, K. V. R. DOS et al. ALL-ON-FOUR HÍBRIDO – IMPLANTE PTERIGOIDE PARA SOLUÇÃO POSTERIOR DE MAXILA ATRÓFICA. **Revista Fluminense de Odontologia**, v. 3, n. 65, p. 76–86, 6 fev. 2024. DOI: <https://doi.org/10.22409/ijosd.v3i65.60453>

SASAKI, J.-I. et al. Barrier membranes for tissue regeneration in dentistry. **Biomaterial Investigations in Dentistry**, v. 8, n. 1, p. 54–63, 1 jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/26415275.2021.1925556>

SCHÖNEGG, D. et al. Patient-specific beta-tricalcium phosphate scaffold for customized alveolar ridge augmentation: a case report. **International journal of implant dentistry**, v. 10, n. 1, 1 maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40729-024-00541-2>

SHAKER, A. E. et al. Comparison of Khoury's Bone Shell Technique vs Titanium-reinforced Polytetrafluoroethylene Membrane for 3D-bone Augmentation in Atrophic Posterior Mandible: A Randomized Clinical Trial. **The journal of contemporary dental practice**, v. 25, n. 6, p. 518–526, jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3704>

SILVA, M. S. DA et al. TERAPIA CELULAR COM CÉLULAS-TRONCO MESENQUIMAIS PARA AUMENTO DE REBORDO ALVEOLAR: EVIDÊNCIAS ATUAIS E DESAFIOS METODOLÓGICOS. **Revista DCS**, v. 23, n. 86, p. e4369, 28 jan. 2026. DOI: <https://doi.org/10.54899/dcs.v23i86.4369>

SIMUNDI, D. F.; SIMUNDI, L. N. S. Aumento vertical de rebordo alveolar maxilar atrófico: Uma revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 4, p. e1714448606, 6 abr. 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v14i4.48606>

SOLOMON, S.-M. et al. Finding the Perfect Membrane: Current Knowledge on Barrier Membranes in Regenerative Procedures: A Descriptive Review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, p. 1042, 20 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031042>

TOLEDANO, M. et al. Testing active membranes for bone regeneration: A review. **Journal of Dentistry**, v. 105, p. 103580–103580, 1 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103580>

VAQUETTE, Cedryck; MITCHELL, Joshua; IVANOVSKI, Sašo. Recent advances in vertical alveolar bone augmentation using additive manufacturing technologies. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 9, p. 798393, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.798393>

VERARDO, Aline Londeiro *et al.* PRESERVAÇÃO ALVEOLAR PÓS-EXTRAÇÃO: UMA REVISÃO DE LITERATURA. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 5, n. 5, p. 2234–2244, 2023.

ZEFERINO, N.; JÚLIA DAL PAZ; MÁRCIO ANTÔNIO BATTISTELLA. Regeneração óssea guiada - uma revisão de literatura. **Journal of Multidisciplinary Dentistry**, v. 13, n. 1, p. 25–9, 21 dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46875/jmd.v13i1.812>

¹ Graduando em odontologia pelo Centro universitário Goyazes - UNIGOYAZES. Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3787-9089>. Trindade, GO, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Graduanda em odontologia pelo Centro Universitário Goyazes - UNIGOYAZES. Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-8239-8790>. Trindade, GO, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Graduando em Odontologia pelo Centro Universitário Goyazes - UNIGOYAZES. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). Trindade, Go, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-5916-4760>

⁴ Graduada em odontologia pela Faculdade UDF. Brasília, DF, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). Orcid:

<https://orcid.org/0009-0008-6734-8921>

⁵ Graduando em odontologia pelo Centro Universitário Goyazes - UNIGOYAZES, Trindade, GO, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-0165-8595>. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁶ Graduando em Odontologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-Goiás). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3311-3799>. Goiânia, GO, Brasil

⁷ Residente em cirurgia e traumatologia buco-maxilo-facial - hospital São Lucas - ISSAL Pato Branco, Paraná PR , Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-2126-4116>

⁸ Graduanda em Odontologia pelo Centro Universitário Goyazes UNIGOYAZES. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-3179-4722>. Trindade, GO, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁹ Graduando em Odontologia pelo Centro universitário Goyazes - UNIGOYAZES, Trindade, Goiás, Brasil . E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-9503-0873>

¹⁰ Graduada em odontologia pelo Centro universitário Goyazes - UNIGOYAZES. Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3787-9089>. Trindade, GO, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹¹ Especialista em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial UFU- Uberlândia. Mestre em Atenção à Saúde UNISINOS- Porto Alegre Goiânia, GO, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4363-5044>

¹² Graduando em Odontologia pela Universidade Católica Boliviana San Pablo UCB - Santa Cruz de la Sierra - Bolivia. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1428-4207>

¹³ Especialista em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial - Faculdade São Leopoldo Mandic Mestrado em Odontologia - Faculdade São Leopoldo Mandic Goiania, GO, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5074-3687>