



Avanços recentes em biomateriais para implantes dentários

Glauco Abe Heckmann¹



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n2p1010-1031>

Artigo publicado em 06 de Fevereiro de 2025

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

Os avanços recentes no desenvolvimento de biomateriais para implantes dentários têm impulsionado melhorias significativas na prática odontológica, oferecendo soluções mais eficazes e personalizadas para a reabilitação oral. Materiais como metais, cerâmicas, polímeros e compósitos destacam-se por suas propriedades distintas, incluindo alta biocompatibilidade, resistência mecânica e capacidade osteocondutiva e osteoindutiva. Ligas de titânio continuam sendo amplamente utilizadas devido à sua durabilidade e excelente interação com o tecido ósseo, enquanto a zircônia emerge como uma alternativa promissora, combinando vantagens estéticas e menor adesão bacteriana. Polímeros como o Poliéter-Éter-Cetona (PEEK), embora apresentem desafios na osseointegração, oferecem leveza e flexibilidade, sendo adequados para aplicações específicas. Este trabalho tem como objetivo geral analisar os avanços recentes no desenvolvimento e aplicação de biomateriais para implantes dentários, destacando suas propriedades, benefícios e impacto na eficácia clínica e na qualidade de vida dos pacientes. A metodologia utilizada neste trabalho foi a Revisão de literatura. Os avanços no desenvolvimento de biomateriais para implantes dentários têm revolucionado a prática odontológica, promovendo soluções eficazes e personalizadas que melhoram significativamente a osseointegração, durabilidade e funcionalidade dos implantes, com impacto positivo na qualidade de vida dos pacientes. Este estudo destacou que metais, como o titânio, permanecem como padrão-ouro devido à resistência e biocompatibilidade, enquanto cerâmicas, polímeros e compósitos oferecem alternativas promissoras com propriedades únicas, como estética superior, flexibilidade e osteocondutividade. Apesar dos benefícios, desafios relacionados à biocompatibilidade de longo prazo, custos elevados e necessidade de regulamentações rigorosas ainda limitam a aplicação universal desses materiais. A continuidade da pesquisa interdisciplinar e o avanço tecnológico são fundamentais para superar essas limitações e ampliar a eficácia clínica dos biomateriais.

Palavras-chave: Biomaterial, Implante dentário, Aplicabilidade.

Recent advances in biomaterials for dental implants

ABSTRACT

Recent advances in the development of biomaterials for dental implants have significantly improved dental practice, providing more effective and personalized solutions for oral rehabilitation. Materials such as metals, ceramics, polymers, and composites stand out for their distinct properties, including high biocompatibility, mechanical strength, and osteoconductive and osteoinductive capacity. Titanium alloys remain widely used due to their durability and excellent interaction with bone tissue, while zirconia emerges as a promising alternative, combining aesthetic advantages and reduced bacterial adhesion. Polymers such as Polyether-Ether-Ketone (PEEK), although challenging in terms of osseointegration, offer lightness and flexibility, making them suitable for specific applications. This study aims to analyze the recent advances in the development and application of biomaterials for dental implants, highlighting their properties, benefits, and impact on clinical efficacy and patients' quality of life. The methodology used in this work was a literature review. Recent advancements in biomaterials for dental implants have revolutionized dental practice, promoting effective and personalized solutions that significantly improve osseointegration, durability, and implant functionality, positively impacting patients' quality of life. This study highlighted that metals, such as titanium, remain the gold standard due to their strength and biocompatibility, while ceramics, polymers, and composites offer promising alternatives with unique properties such as superior aesthetics, flexibility, and osteoconductivity. Despite the benefits, challenges related to long-term biocompatibility, high costs, and the need for strict regulations still limit the universal application of these materials. Continued interdisciplinary research and technological advancements are essential to overcoming these limitations and expanding the clinical effectiveness of biomaterials.

Keywords: Biomaterial, Dental implant, Applicability.

Instituição afiliada – Odontologista, implantodontista e cirurgião Dentista na Clínica Dr Glauco Abe Heckmann.

Autor correspondente: Glauco Abe Heckmann drglaucoabeheckmann@outlook.com

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





INTRODUÇÃO

Os avanços nos biomateriais utilizados para implantes dentários têm proporcionado melhorias significativas tanto no desempenho clínico quanto na experiência dos pacientes. Esses materiais, que podem ser compostos por elementos naturais ou sintéticos, destacam-se por sua biocompatibilidade e capacidade de integração com os tecidos biológicos. De acordo com Bernardo *et al.* (2021), biomateriais como polímeros, cerâmicas e metais desempenham papéis fundamentais devido às suas propriedades únicas, incluindo resistência mecânica, capacidade de biointegração e controle da biodegradação. Os polímeros, por exemplo, destacam-se pela versatilidade, enquanto as cerâmicas são amplamente empregadas em implantes devido à sua similaridade com o tecido ósseo.

No contexto da regeneração óssea, os biomateriais são essenciais para promover a osseointegração, processo crucial para a estabilidade dos implantes. Eufrásio, Vera e Vera (2024) ressaltaram que a utilização de cerâmicas de fosfato de cálcio, como hidroxiapatita, tem se mostrado altamente eficaz nesse processo, especialmente devido à sua bioatividade e capacidade de estimular a formação de novo tecido ósseo. Além disso, os biomateriais metálicos, como as ligas de titânio, apresentam propriedades notáveis, incluindo resistência à corrosão e biocompatibilidade, o que os torna ideais para aplicações odontológicas (Fermino *et al.*, 2024). Essas ligas, ao interagirem com os tecidos circundantes, promovem uma fixação duradoura e segura dos implantes.

Outro avanço relevante está na utilização de membranas em técnicas como a regeneração óssea guiada (ROG), que possibilitam maior previsibilidade em situações de perda óssea. Conforme discutido por Pinto, De Macedo Azevedo e De Oliveira (2024), essas membranas, sejam bioreabsorvíveis ou não, atuam como barreiras físicas que favorecem a regeneração do tecido ósseo enquanto previnem a invasão de células indesejadas. As membranas bioreabsorvíveis, feitas de polímeros como poliácido láctico (PLA) ou colágeno, têm a vantagem de serem absorvidas pelo organismo, eliminando a necessidade de remoção cirúrgica. Por outro lado, as membranas não bioreabsorvíveis, embora mais estáveis, exigem maior intervenção clínica.

O desenvolvimento de novas tecnologias também tem ampliado as possibilidades de aplicação dos biomateriais. Nanocompósitos, por exemplo, são



materiais que combinam componentes em escala nanométrica, oferecendo propriedades superiores em termos de resistência e bioatividade (Bernardo *et al.*, 2021). Esses avanços, aliados a técnicas de manufatura como impressão 3D, têm permitido a criação de implantes personalizados, adaptados às necessidades específicas de cada paciente, maximizando os resultados clínicos.

A evolução dos biomateriais representa um marco significativo no campo da odontologia, especialmente no que se refere à reabilitação oral por meio de implantes dentários. O aumento da expectativa de vida e a busca crescente por qualidade de vida têm intensificado a demanda por soluções inovadoras que possam suprir as necessidades funcionais e estéticas dos pacientes. Implantes dentários, ao se consolidarem como uma alternativa viável para a substituição de dentes perdidos, dependem da eficiência dos biomateriais, cuja composição, propriedades e aplicações impactam diretamente o sucesso clínico dos tratamentos.

Neste contexto, a pesquisa sobre biomateriais se torna imprescindível, visto que ela possibilita o desenvolvimento de soluções mais avançadas e seguras, com foco na biocompatibilidade, durabilidade e interação eficaz com os tecidos biológicos. Além disso, o aprimoramento das propriedades físicas, químicas e mecânicas desses materiais reflete diretamente na eficácia dos procedimentos odontológicos, promovendo maior estabilidade e conforto para os pacientes.

A escolha do tema se justifica pela relevância científica e prática que os avanços nos biomateriais representam tanto para profissionais da área odontológica quanto para pacientes que necessitam de tratamentos restauradores modernos. A compreensão mais aprofundada sobre os diferentes tipos de biomateriais, suas aplicações e benefícios pode contribuir não apenas para o aprimoramento das práticas clínicas, mas também para a disseminação de conhecimentos que possibilitem escolhas mais assertivas no planejamento terapêutico. Dessa forma, a pesquisa oferece subsídios para a construção de um cenário odontológico cada vez mais eficiente, alinhado com os avanços científicos e tecnológicos.

Este trabalho pretende responder a seguinte questão: Como os avanços recentes no desenvolvimento e aplicação de biomateriais têm contribuído para melhorar as propriedades, os benefícios e o impacto na eficácia clínica e na qualidade de vida dos



pacientes submetidos a implantes dentários?

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os avanços recentes no desenvolvimento e aplicação de biomateriais para implantes dentários, destacando suas propriedades, benefícios e impacto na eficácia clínica e na qualidade de vida dos pacientes e os objetivos específicos foram identificar os principais tipos de biomateriais utilizados atualmente em implantes dentários, suas propriedades físico-químicas e biológicas, e as inovações tecnológicas aplicadas, avaliar a influência dos biomateriais na osseointegração, durabilidade e biocompatibilidade dos implantes dentários, com base em estudos clínicos recentes e investigar as tendências futuras no desenvolvimento de biomateriais para implantes dentários, considerando aspectos como nanotecnologia, bioatividade e sustentabilidade.

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu em uma revisão de literatura com abordagem qualitativa e exploratória, com o objetivo de analisar os avanços recentes no desenvolvimento e aplicação de biomateriais para implantes dentários, destacando suas propriedades, benefícios e impacto na eficácia clínica e na qualidade de vida dos pacientes. A pesquisa foi realizada nas bases de dados PubMed, SciELO e Google Acadêmico, selecionadas por sua ampla relevância e pela disponibilidade de artigos científicos nas áreas de odontologia e materiais biomédicos. Foram utilizadas as palavras-chave “Biomaterial”, “Implante dentário” e “Aplicabilidade”, combinadas de forma individual e conjunta, com o auxílio de operadores booleanos, como AND e OR, para refinar os resultados. A busca foi realizada tanto em português quanto em inglês, com o intuito de ampliar o escopo e incluir publicações nacionais e internacionais.

Os critérios de inclusão adotados contemplaram artigos publicados entre os anos de 2020 e 2024, considerando a necessidade de analisar avanços recentes na área. Foram incluídos estudos originais e revisões de literatura que abordassem o uso de biomateriais em implantes dentários, desde que estivessem disponíveis em texto completo nas bases de dados selecionadas e fossem publicados em português e inglês. Por outro lado, os critérios de exclusão consideraram artigos que não apresentassem relação direta com biomateriais para implantes dentários, estudos duplicados entre as



bases de dados e trabalhos cuja metodologia ou resultados não fossem suficientemente detalhados para análise.

A seleção dos estudos ocorreu em duas etapas. Na primeira, foi realizada a leitura dos títulos e resumos, com o objetivo de identificar artigos potencialmente relevantes. Na segunda etapa, os artigos selecionados foram lidos na íntegra, priorizando aqueles que apresentavam dados significativos sobre as propriedades, aplicações e impacto clínico dos biomateriais utilizados em implantes dentários. Os dados extraídos foram organizados em categorias temáticas, incluindo os tipos de biomateriais utilizados, os avanços tecnológicos, os benefícios clínicos e as limitações associadas.

Os resultados obtidos foram discutidos com base na literatura analisada, buscando responder à questão-problema e atender ao objetivo proposto. Por meio dessa abordagem, o trabalho apresentou uma síntese crítica e atualizada sobre o tema, destacando as contribuições mais relevantes para a prática odontológica e apontando as tendências futuras na aplicação de biomateriais em implantes dentários.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Botelho, Pêgo e Rocha (2024) concentraram sua análise na classificação e avaliação de biomateriais amplamente utilizados, como metais, polímeros e cerâmicas, destacando suas propriedades mecânicas, biológicas e químicas. O estudo evidenciou que metais, como o titânio, são altamente resistentes e duráveis, sendo ideais para implantes dentários, enquanto os polímeros, como o PEEK, oferecem biocompatibilidade e flexibilidade, apesar de desafios relacionados ao custo e impacto ambiental. Por outro lado, as cerâmicas foram reconhecidas por sua biocompatibilidade e estabilidade química, mas apresentaram fragilidade mecânica como uma limitação crítica. A conclusão principal ressaltou a indispensabilidade dos biomateriais na odontologia moderna, destacando a evolução tecnológica como um elemento-chave para melhorar os tratamentos.

Por outro lado, Eufrásio, Vera e Vera (2024) exploraram o uso de biomateriais na regeneração óssea em implantes dentários, enfatizando a integração óssea eficaz proporcionada por esses materiais. O estudo incluiu uma análise detalhada de



biomateriais artificiais e naturais, como hidroxiapatita e compostos de colágeno, que se mostraram eficazes na promoção da osseointegração. Os polímeros também foram valorizados por sua versatilidade e biocompatibilidade, enquanto os metais, embora vantajosos mecanicamente, apresentaram limitações quanto à biocompatibilidade e riscos de corrosão. A abordagem desses autores foi mais voltada para o impacto dos biomateriais na estabilidade e funcionalidade dos implantes, destacando a necessidade de inovações tecnológicas para superar desafios existentes.

O trabalho de Ferreiraj *et al.* (2024) adotou uma abordagem mais específica ao focar nas propriedades do fosfato tricálcico (TCP) combinado à zircônia para aplicações odontológicas. O estudo demonstrou que a adição de TCP à zircônia melhora significativamente as propriedades mecânicas e biológicas do material, tornando-o mais eficiente na osseointegração e na cicatrização óssea. Diferentemente dos outros estudos, este enfatizou a combinação de materiais para criar soluções estéticas e mecânicas superiores, especialmente em áreas de alta exigência estética. A conclusão destacou o potencial do TCP como revestimento inovador, mas reforçou a necessidade de estudos clínicos de longo prazo para validar sua eficácia e segurança.

Ao comparar os resultados dos três estudos, é evidente que todos concordam sobre a relevância dos biomateriais para o avanço da odontologia, especialmente no que diz respeito à melhoria dos tratamentos e à integração óssea. Botelho, Pêgo e Rocha (2024) e Eufrásio, Vera e Vera (2024) chegaram a conclusões semelhantes ao destacar a eficácia de metais, polímeros e cerâmicas na prática odontológica, embora tenham abordado aspectos diferentes. Enquanto o primeiro trabalho enfatizou uma visão ampla sobre os materiais e suas aplicações gerais, o segundo focou na regeneração óssea e na integração com os tecidos biológicos.

No entanto, Ferreiraj *et al.* (2024) apresentaram um diferencial ao explorar um material específico, o TCP, combinado à zircônia, demonstrando um enfoque mais direcionado e técnico. Apesar de os três estudos reconhecerem os desafios associados ao uso de biomateriais, como custo, fragilidade e biocompatibilidade, a abordagem de Ferreiraj *et al.* (2024) destacou a necessidade de otimizar materiais já existentes para atender a demandas específicas da odontologia estética e funcional.

Por outro lado, as diferenças entre os estudos também revelam lacunas e



oportunidades para pesquisas futuras. Botelho, Pêgo e Rocha (2024) enfatizaram a evolução tecnológica e a necessidade de atualização constante dos profissionais, mas não exploraram profundamente os avanços em combinações de materiais, como fizeram Ferreiraj *et al.* (2024). Já Eufrásio, Vera e Vera (2024) destacaram o potencial de biomateriais naturais e compostos, mas não abordaram com a mesma profundidade a questão estética, um aspecto amplamente discutido por Ferreiraj *et al.* (2024). Essa variação de focos ressalta a amplitude do tema e a necessidade de abordagens integradas que considerem aspectos funcionais, biológicos e estéticos.

A convergência entre os trabalhos está na ênfase sobre a importância dos biomateriais como ferramentas indispensáveis na odontologia moderna, enquanto a divergência reside na abordagem e no grau de especificidade adotado por cada estudo. Botelho, Pêgo e Rocha (2024) forneceram uma visão abrangente sobre a classificação e aplicação geral dos biomateriais, enquanto Eufrásio, Vera e Vera (2024) aprofundaram-se na regeneração óssea e nos avanços tecnológicos relacionados a implantes dentários. Por sua vez, Ferreiraj *et al.* (2024) destacaram a importância de combinações de materiais específicos para superar limitações e atender a demandas estéticas e mecânicas mais complexas.

Os estudos realizados por Fermino *et al.* (2024), Marques *et al.* (2024), Mohammadi *et al.* (2024) e Morais (2024) abordaram de forma abrangente o papel dos biomateriais na odontologia, destacando suas propriedades, aplicações e limitações. Apesar de apresentarem enfoques e metodologias diferentes, os trabalhos convergiram em diversos aspectos relacionados à importância dos biomateriais no avanço das práticas odontológicas, ao mesmo tempo em que divergiram em conclusões específicas sobre a eficácia de certos materiais e suas aplicações clínicas.

Fermino *et al.* (2024) destacaram a relevância dos biomateriais metálicos, com ênfase nas ligas de titânio, níquel-titânio e magnésio, devido às suas propriedades mecânicas e biológicas. O estudo ressaltou que as ligas de titânio possuem alta resistência à corrosão e excelente biocompatibilidade, sendo amplamente utilizadas em próteses e implantes. Por sua vez, as ligas de níquel-titânio foram apontadas por sua versatilidade, especialmente em aplicações ortodônticas, enquanto as ligas de magnésio demonstraram potencial em aplicações biomédicas devido à sua biodegradabilidade.



Essa visão foi complementada por Marques *et al.* (2024), que também abordaram o uso de biomateriais metálicos na correção de defeitos ósseos, mas direcionaram a análise para materiais alternativos, como os enxertos aloplásticos e substitutos ósseos. Embora ambos os estudos reconhecessem a importância da biocompatibilidade e resistência mecânica, Marques *et al.* (2024) enfatizaram que materiais como hidroxiapatita e vidro bioativo, apesar de eficazes na osteocondutividade, apresentam limitações quanto à velocidade de regeneração óssea em comparação com os biomateriais metálicos descritos por Fermino *et al.* (2024).

Mohammadi *et al.* (2024) exploraram um biomaterial específico, o nitreto de silício (Si₃N₄), destacando sua combinação de propriedades mecânicas e biológicas superiores. Os resultados apontaram que o Si₃N₄ possui características bactericidas e alta biocompatibilidade, além de promover a osseointegração. Essa abordagem diferiu significativamente da de Morais (2024), que analisaram uma gama mais ampla de biomateriais para enxertia óssea, incluindo autógenos, aloplásticos e xenógenos. Enquanto Morais (2024) classificou os enxertos autógenos como padrão-ouro devido às suas propriedades osteogênicas, Mohammadi *et al.* (2024) não exploraram essa categoria, focando exclusivamente no potencial de materiais sintéticos como o Si₃N₄. Essa diferença evidencia como os objetivos de cada estudo influenciam as conclusões. Mohammadi *et al.* (2024) sugeriram o Si₃N₄ como uma alternativa promissora para evitar complicações bacterianas, enquanto Morais (2024) consideraram os riscos associados aos materiais xenógenos, como a transmissão de patógenos, apesar de destacarem seus benefícios na resistência biomecânica.

Os estudos de Marques *et al.* (2024) e Morais (2024) convergiram na avaliação de biomateriais para a regeneração óssea, especialmente os enxertos aloplásticos e xenógenos. Ambos concordaram que os materiais aloplásticos, como a hidroxiapatita, oferecem vantagens em termos de biocompatibilidade e osteocondutividade, mas exigem maior tempo para completar a regeneração óssea. No entanto, Marques *et al.* (2024) enfatizaram a importância da técnica cirúrgica associada à escolha do biomaterial para o sucesso da implantodontia, enquanto Morais (2024) destacaram a necessidade de critérios rigorosos para minimizar os riscos de complicações nos materiais xenógenos. Apesar das diferenças no enfoque, ambos reforçaram que não há um biomaterial universalmente ideal, sendo necessário adaptar a escolha às condições



específicas de cada paciente.

Por outro lado, Fermino *et al.* (2024) e Mohammadi *et al.* (2024) abordaram propriedades mais técnicas e específicas dos biomateriais, como resistência à fratura e interação com o tecido biológico. Fermino *et al.* (2024) destacaram que a combinação de magnésio com outros metais pode oferecer propriedades mecânicas superiores, como leveza e biodegradabilidade, enquanto Mohammadi *et al.* (2024) evidenciaram a vantagem bactericida do Si3N4 como um diferencial significativo em comparação aos materiais metálicos. Essa diferença reflete a diversidade de abordagens nos estudos de biomateriais, onde Fermino *et al.* (2024) focaram em melhorar as propriedades dos metais existentes, enquanto Mohammadi *et al.* (2024) exploraram a inovação com materiais menos convencionais.

Os autores também divergem na priorização de desafios e limitações. Marques *et al.* (2024) e Morais (2024) apontaram a necessidade de superar barreiras práticas, como a morbidade associada aos enxertos autógenos e o tempo prolongado para a regeneração com materiais aloplásticos. Já Fermino *et al.* (2024) destacaram os desafios relacionados à adaptação das propriedades mecânicas dos metais para atender a novas demandas odontológicas. Mohammadi *et al.* (2024) focaram nos aspectos bactericidas e na necessidade de validar o uso do Si3N4 em estudos clínicos, destacando que os avanços ainda precisam superar barreiras regulatórias e de custo para viabilizar sua aplicação em larga escala.

Apesar das diferenças nos resultados, todos os estudos convergem ao destacar a importância de pesquisas contínuas para aprimorar os biomateriais e ampliar suas aplicações na odontologia. A análise técnica e específica de Mohammadi *et al.* (2024) sobre o Si3N4 complementa as abordagens mais generalistas de Marques *et al.* (2024) e Morais (2024), enquanto Fermino *et al.* (2024) apresentam uma visão integrada sobre os biomateriais metálicos. Esses estudos, em conjunto, reforçam a necessidade de inovação, desenvolvimento tecnológico e adequação clínica para garantir tratamentos mais eficazes e seguros.

Pinto, De Macedo Azevedo e De Oliveira (2024) concentraram-se nas membranas utilizadas na Regeneração Óssea Guiada (ROG), destacando as vantagens e limitações das membranas bioreabsorvíveis e não bioreabsorvíveis. Os autores



observaram que as membranas bioreabsorvíveis, como as de colágeno, oferecem benefícios relacionados à eliminação de uma segunda cirurgia para remoção, embora apresentem menor estabilidade em defeitos ósseos maiores. Por outro lado, as membranas não bioreabsorvíveis, como as de politetrafluoretileno expandido (e-PTFE), mostraram maior estabilidade mecânica, mas aumentaram os riscos associados a complicações devido à necessidade de remoção cirúrgica. Essa análise focada em técnicas cirúrgicas e tipos de membranas contrasta com a abordagem de Chojnacka, Moustakas e Mikulewicz (2023), que enfatizaram a sustentabilidade e a multifuncionalidade de biomateriais à base de celulose. Os autores destacaram que esses biomateriais têm aplicação em diversas áreas, como restaurações dentárias, curativos e regeneração de tecidos, sendo valorizados por suas propriedades antibacterianas e biocompatibilidade. Contudo, ressaltaram desafios na fabricação e barreiras técnicas que limitam sua ampla aplicação clínica.

A divergência entre os estudos torna-se evidente ao considerar as características dos materiais abordados. Pinto, De Macedo Azevedo e De Oliveira (2024) priorizaram a eficácia clínica e a funcionalidade prática das membranas, enquanto Chojnacka, Moustakas e Mikulewicz (2023) valorizaram a sustentabilidade dos materiais de celulose, com um enfoque inovador em práticas odontológicas ambientalmente responsáveis. Essa diferença de prioridades reflete o amplo espectro de interesses na pesquisa sobre biomateriais odontológicos, desde abordagens pragmáticas e cirúrgicas até propostas de inovação sustentável.

Khaohoen *et al.* (2023), por sua vez, exploraram a relação entre materiais de implantes, design e técnicas cirúrgicas com a densidade óssea. Diferentemente de Pinto, De Macedo Azevedo e De Oliveira (2024), que analisaram as propriedades de membranas específicas, Khaohoen *et al.* (2023) consideraram o impacto de materiais amplamente utilizados, como titânio, zircônia e PEEK, na estabilidade óssea e no sucesso dos implantes. Os resultados destacaram o titânio como o padrão-ouro devido à sua biocompatibilidade e resistência mecânica, enquanto a zircônia foi identificada como uma alternativa promissora por suas vantagens estéticas e menor adesão bacteriana. O PEEK, embora apresentasse limitações em osseointegração, mostrou potencial para aplicações específicas. Essa abordagem técnica e detalhada em relação aos materiais de implantes divergiu significativamente da análise de Chojnacka, Moustakas e Mikulewicz



(2023), que não investigaram materiais de implantes diretamente, mas abordaram a multifuncionalidade de biomateriais à base de celulose.

Os trabalhos de Khaohoen *et al.* (2023) e Pinto, De Macedo Azevedo e De Oliveira (2024) convergiram ao enfatizar a importância de adaptar materiais e técnicas às condições específicas do paciente. Pinto, De Macedo Azevedo e De Oliveira (2024) destacaram que a escolha do biomaterial deve considerar fatores como o tipo de defeito ósseo e a técnica cirúrgica empregada, enquanto Khaohoen *et al.* (2023) ressaltaram a necessidade de escolher o material, design do implante e técnica com base na densidade óssea. Ambos os estudos reforçaram a ideia de que o sucesso clínico depende da personalização dos tratamentos e da expertise do profissional.

Apesar dessa convergência, os estudos diferiram em suas conclusões sobre limitações e desafios. Khaohoen *et al.* (2023) abordaram diretamente as limitações de materiais específicos, como a menor osseointegração do PEEK, enquanto Pinto, De Macedo Azevedo e De Oliveira (2024) focaram nas dificuldades associadas às membranas não bioreabsorvíveis, especialmente os riscos de complicações devido à necessidade de remoção cirúrgica. Já Chojnacka, Moustakas e Mikulewicz (2023) destacaram os desafios relacionados à fabricação e escalabilidade de biomateriais de celulose, ressaltando a importância de superar barreiras técnicas para ampliar suas aplicações clínicas. Essa variação de desafios reflete as diferentes abordagens e objetivos de cada estudo, que priorizaram aspectos específicos do uso de biomateriais.

Os autores também apresentaram perspectivas distintas quanto ao impacto ambiental e à sustentabilidade. Chojnacka, Moustakas e Mikulewicz (2023) enfatizaram a sustentabilidade dos biomateriais à base de celulose, alinhando-se às práticas odontológicas ambientalmente responsáveis. Essa abordagem contrasta com os estudos de Pinto, De Macedo Azevedo e De Oliveira (2024) e Khaohoen *et al.* (2023), que não consideraram diretamente o impacto ambiental dos materiais analisados, mas focaram na eficácia clínica e nas propriedades biológicas e mecânicas. Essa diferença de enfoque evidencia a crescente relevância de incorporar aspectos sustentáveis na pesquisa e desenvolvimento de biomateriais, o que pode complementar os avanços técnicos e clínicos discutidos nos outros estudos.

No estudo de Kharouf *et al.* (2023), a revisão enfatizou os avanços em



biomateriais restauradores, adesivos bioativos, materiais endodônticos e compósitos reforçados. Os autores destacaram a incorporação de moléculas bioativas, como taninos e polifenóis, para melhorar as propriedades antimicrobianas e a durabilidade das interfaces adesivas, o que reflete uma abordagem orientada para a longevidade dos tratamentos restauradores e endodônticos. Por outro lado, o trabalho de Ostrovidov *et al.* (2023) analisou os avanços na *bioprinting* tridimensional (3D) como uma técnica emergente para a regeneração de tecidos dentários complexos, incluindo osso alveolar, polpa dentária e ligamento periodontal. A pesquisa se concentrou na aplicação de *bioinks* e *scaffolds* projetados para mimetizar o ambiente extracelular dos tecidos, permitindo a deposição precisa de células e biomateriais para promover uma regeneração mais eficiente.

Os métodos empregados em cada estudo também refletem as diferenças em seus objetivos. Kharouf *et al.* (2023) revisaram literatura científica com base em avanços tecnológicos relacionados a biomateriais convencionais, enfatizando melhorias na biocompatibilidade, propriedades mecânicas e antimicrobianas. Já Ostrovidov *et al.* (2023) adotaram uma abordagem mais específica e experimental, focando nos métodos de impressão 3D, como jato de tinta, extrusão e laser, bem como nas interações celulares e regeneração tecidual em modelos pré-clínicos. A análise detalhada dos *bioinks*, sejam naturais ou sintéticos, e sua integração com células-tronco e fatores de crescimento ilustra um avanço mais experimental e inovador em comparação ao estudo de Kharouf *et al.* (2023), que explorou materiais amplamente testados em aplicações clínicas.

Os resultados apresentados pelos dois estudos destacaram a eficácia dos biomateriais para alcançar objetivos específicos. Kharouf *et al.* (2023) concluíram que os compósitos reforçados, materiais de silicato de cálcio e adesivos modificados com moléculas bioativas oferecem maior resistência e longevidade aos tratamentos odontológicos. Por sua vez, Ostrovidov *et al.* (2023) demonstraram que a *bioprinting* 3D pode regenerar tecidos dentários complexos com maior precisão e eficiência, oferecendo soluções personalizadas para desafios odontológicos. A utilização de hidrogéis naturais e sintéticos como *bioinks* reforçou a potencialidade dessa técnica para aplicações regenerativas mais específicas, algo não abordado no trabalho de Kharouf *et al.* (2023).



Apesar de ambos os estudos destacarem avanços significativos, suas conclusões apontaram limitações específicas. Kharouf *et al.* (2023) ressaltaram a necessidade de estudos clínicos adicionais para validar as tecnologias emergentes e garantir a sustentabilidade dos biomateriais utilizados. Essa preocupação reflete a aplicação prática imediata e a necessidade de otimizar o custo-benefício e a segurança dos materiais no ambiente clínico. Ostrovidov *et al.* (2023) também identificaram desafios técnicos, incluindo a estabilidade mecânica dos tecidos regenerados e a viabilidade de longo prazo das estruturas criadas pela *bioprinting*. Além disso, o estudo enfatizou que as limitações técnicas precisam ser superadas antes que a *bioprinting* possa ser amplamente integrada à prática clínica, evidenciando um estágio menos maduro de desenvolvimento em comparação às tecnologias analisadas por Kharouf *et al.* (2023).

Ambos os estudos convergiram na necessidade de avanços contínuos e de pesquisa interdisciplinar para superar barreiras técnicas e aprimorar a aplicabilidade clínica dos biomateriais. Kharouf *et al.* (2023) defenderam a integração de tecnologias emergentes com biomateriais já consolidados para melhorar a eficácia e a durabilidade dos tratamentos odontológicos, enquanto Ostrovidov *et al.* (2023) destacaram a importância de desenvolver tecnologias personalizadas que possam atender às necessidades específicas dos pacientes. Essa convergência reflete o compromisso dos dois estudos com a evolução da odontologia, embora os enfoques e as abordagens sejam distintos.

As diferenças mais marcantes entre os dois estudos estão relacionadas ao estágio de desenvolvimento das tecnologias abordadas. Kharouf *et al.* (2023) analisaram materiais amplamente utilizados na prática odontológica, com foco em melhorias incrementais para maximizar a durabilidade e a eficácia clínica. Por outro lado, Ostrovidov *et al.* (2023) exploraram a *bioprinting* 3D como uma técnica emergente, com grande potencial, mas ainda em estágio inicial de implementação clínica. Essa diferença ilustra como os avanços na odontologia podem abranger tanto a otimização de tecnologias existentes quanto a introdução de inovações disruptivas.

A abordagem dos estudos em relação às propriedades dos biomateriais também apresenta distinções. Kharouf *et al.* (2023) enfatizaram as propriedades antimicrobianas, a biocompatibilidade e a resistência mecânica de materiais como os



compósitos reforçados e os silicatos de cálcio, destacando como esses avanços contribuem para a eficácia clínica. Em contraste, Ostrovidov *et al.* (2023) concentraram-se em características regenerativas, como a interação celular e a diferenciação em tecidos complexos, que são fundamentais para a *bioprinting* 3D. A ênfase nos *bioinks* como ferramentas para imitar o ambiente biológico dos tecidos reflete uma abordagem mais voltada para a engenharia tecidual, enquanto Kharouf *et al.* (2023) priorizaram a aplicabilidade direta dos biomateriais em tratamentos restauradores e endodônticos.

Apesar dessas diferenças, os dois estudos destacaram a importância da personalização no uso de biomateriais. Kharouf *et al.* (2023) sugeriram que a integração de moléculas bioativas pode oferecer soluções adaptáveis às necessidades clínicas de cada paciente, enquanto Ostrovidov *et al.* (2023) enfatizaram que a *bioprinting* permite criar estruturas personalizadas para regenerar tecidos dentários específicos. Essa convergência ressalta a relevância de adaptar tecnologias e biomateriais para atender às demandas individuais, garantindo tratamentos mais eficazes e direcionados.

Em termos de impacto ambiental e sustentabilidade, os estudos diferiram em seus enfoques. Ostrovidov *et al.* (2023) não discutiram diretamente a sustentabilidade dos materiais utilizados na *bioprinting*, enquanto Kharouf *et al.* (2023) mencionaram a necessidade de considerar a sustentabilidade na aplicação de biomateriais odontológicos. Essa diferença reflete a prioridade de cada estudo, sendo que Kharouf *et al.* (2023) abordaram um espectro mais amplo de preocupações práticas, enquanto Ostrovidov *et al.* (2023) focaram no potencial inovador de uma técnica específica.

Sycińska-Dziarnowska *et al.* (2023) realizaram uma revisão abrangente sobre o uso de nanopartículas de prata em biomateriais odontológicos, destacando suas propriedades antimicrobianas superiores e aplicações em cimentos, resinas compostas e revestimentos de implantes. O estudo destacou que as nanopartículas de prata são eficazes contra bactérias associadas a cáries e infecções periodontais, como *Streptococcus mutans* e *Enterococcus faecalis*. Essa perspectiva contrasta com a abordagem de Bernardo *et al.* (2021), que analisaram biomateriais poliméricos com foco na biocompatibilidade e biodegradabilidade para aplicações em engenharia de tecidos e dispositivos médicos. Bernardo *et al.* (2021) enfatizaram a versatilidade de polímeros como quitosana, celulose e ácido hialurônico na produção de *scaffolds* e estruturas



tridimensionais, explorando avanços como a impressão 3D. Por outro lado, Gote (2020) analisou biomateriais aplicados à técnica de levantamento de seio maxilar, abordando enxertos autógenos, aloplásticos, xenógenos e homogêneos. Diferentemente dos outros estudos, Gote (2020) focou em classificar biomateriais segundo sua origem e função, destacando o osso autógeno como padrão-ouro na regeneração óssea, mas reconhecendo limitações como morbidade e disponibilidade reduzida.

Os métodos utilizados também diferem significativamente entre os autores. Sycińska-Dziarnowska *et al.* (2023) realizaram uma análise baseada em bases de dados amplamente reconhecidas, como PubMed e Scopus, avaliando o impacto das nanopartículas de prata em propriedades antimicrobianas e adesivas de biomateriais odontológicos. Bernardo *et al.* (2021), por sua vez, adotaram uma abordagem mais técnica ao investigar processos de fabricação, como eletrofiação e impressão 3D, para melhorar as propriedades mecânicas e biológicas dos biomateriais poliméricos. Já Gote (2020) centrou-se em revisões de estudos clínicos sobre regeneração óssea, analisando a eficácia de biomateriais em situações específicas de atrofia óssea na maxila. Essa distinção reflete os diferentes estágios de desenvolvimento e aplicação dos biomateriais discutidos em cada estudo.

Os resultados também apresentam convergências e divergências. Sycińska-Dziarnowska *et al.* (2023) concluíram que as nanopartículas de prata são promissoras para a odontologia moderna devido às suas propriedades antimicrobianas, mas alertaram para os desafios relacionados à citotoxicidade e à liberação controlada de íons de prata. Esse enfoque contrasta com o de Bernardo *et al.* (2021), que destacaram a alta biocompatibilidade e biodegradabilidade de biomateriais poliméricos, como quitosana e celulose, enfatizando seu potencial para aplicações personalizadas em regeneração tecidual e dispositivos de liberação controlada de fármacos. Bernardo *et al.* (2021) também identificaram desafios relacionados à escalabilidade e regulamentação, que são menos explorados por Sycińska-Dziarnowska *et al.* (2023). Já Gote (2020) destacou a eficácia clínica do osso autógeno e de combinações com hidroxiapatita ou fosfato de cálcio bifásico na regeneração óssea, mas apontou limitações como o risco de morbidade nos sítios doadores e a possibilidade de rejeições imunológicas em materiais xenógenos. Essa análise prática reflete uma abordagem mais direcionada à aplicação imediata dos biomateriais em situações específicas.



Apesar das diferenças, os três estudos convergiram ao enfatizar a importância de pesquisas adicionais para superar limitações e melhorar as propriedades dos biomateriais. Sycińska-Dziarnowska *et al.* (2023) destacaram a necessidade de estudos clínicos para validar a segurança e a eficácia das nanopartículas de prata, enquanto Bernardo *et al.* (2021) enfatizaram a importância de inovações tecnológicas para aprimorar métodos de produção e atender às exigências regulatórias. Gote (2020), por sua vez, sugeriu que avanços tecnológicos e maior conhecimento técnico poderiam ampliar as opções de biomateriais e minimizar suas limitações, especialmente no caso de enxertos autógenos e aloplásticos. Essa convergência reflete o compromisso dos três estudos com a evolução contínua dos biomateriais para atender às demandas crescentes na prática odontológica.

As diferenças mais marcantes estão relacionadas ao tipo de biomaterial e à aplicação clínica analisada. Sycińska-Dziarnowska *et al.* (2023) focaram em nanopartículas de prata como uma inovação antimicrobiana com amplo potencial clínico, enquanto Bernardo *et al.* (2021) exploraram biomateriais poliméricos para aplicações regenerativas e de engenharia tecidual. Por outro lado, Gote (2020) abordou biomateriais tradicionais e amplamente utilizados na regeneração óssea, destacando sua eficácia clínica comprovada. Essa diferença de enfoque reflete a diversidade de estágios de desenvolvimento e aplicação dos biomateriais, variando desde inovações emergentes até tecnologias consolidadas.

Os estudos também diferiram em relação à abordagem dos desafios enfrentados pelos biomateriais. Sycińska-Dziarnowska *et al.* (2023) enfatizaram as preocupações com a citotoxicidade e a liberação controlada de íons de prata, enquanto Bernardo *et al.* (2021) destacaram questões relacionadas à escalabilidade e à regulação de biomateriais poliméricos para uso clínico. Gote (2020), por sua vez, abordou limitações práticas associadas ao uso de biomateriais na técnica de levantamento de seio maxilar, como a necessidade de procedimentos invasivos adicionais em enxertos autógenos e o risco de rejeição imunológica em materiais xenógenos. Essa diferença de desafios reflete as distintas prioridades e aplicações analisadas em cada estudo.

Em termos de impacto clínico, os estudos apresentaram abordagens complementares. Sycińska-Dziarnowska *et al.* (2023) destacaram o potencial das

nanopartículas de prata para prevenir infecções e melhorar a adesão de materiais dentários, contribuindo para tratamentos mais seguros e duráveis. Bernardo *et al.* (2021) enfatizaram o papel dos biomateriais poliméricos na personalização de dispositivos médicos e *scaffolds* para regeneração tecidual, oferecendo soluções inovadoras para a medicina regenerativa. Gote (2020) focou na aplicação prática de biomateriais na regeneração óssea, fornecendo uma análise detalhada de suas propriedades e eficácia em situações clínicas específicas. Essas abordagens complementares destacam a amplitude das aplicações de biomateriais na odontologia, desde avanços tecnológicos emergentes até soluções clínicas consolidadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços no desenvolvimento de biomateriais para implantes dentários têm transformado significativamente a prática odontológica moderna, oferecendo soluções mais eficazes e personalizadas para a reabilitação oral. Este estudo evidenciou que a evolução tecnológica e científica na área tem permitido a criação de materiais com propriedades físicas, químicas e biológicas superiores, que impactam diretamente na osseointegração, durabilidade e funcionalidade dos implantes dentários. Entre os principais biomateriais analisados, os metais, polímeros, cerâmicas e compósitos destacaram-se por suas características únicas, como resistência mecânica, biocompatibilidade e propriedades osteocondutivas e osteoindutivas.

Os metais, como as ligas de titânio, continuam sendo amplamente utilizados devido à sua alta resistência à corrosão, excelente biocompatibilidade e capacidade de promover a integração com o tecido ósseo, sendo considerados o padrão-ouro em diversas aplicações. Por outro lado, as cerâmicas, especialmente a zircônia, têm ganhado destaque não apenas por suas propriedades estéticas superiores, mas também por sua baixa aderência bacteriana e boa resistência mecânica. Polímeros, como o poliéter-éter-cetona (PEEK), apresentaram avanços em termos de flexibilidade e leveza, mas ainda enfrentam desafios relacionados à sua integração óssea. Além disso, os compósitos e nanocompósitos têm emergido como alternativas promissoras, combinando propriedades de diferentes materiais para otimizar o desempenho clínico.

A utilização de biomateriais na odontologia também revelou impacto



significativo na qualidade de vida dos pacientes, melhorando a funcionalidade mastigatória, a estética e a confiança, além de reduzir complicações associadas a falhas de implantes. O uso de tecnologias inovadoras, como impressão 3D e modificações na superfície dos materiais com nanopartículas bioativas, tem ampliado as possibilidades de personalização e otimização dos implantes, atendendo a diferentes demandas clínicas e anatômicas.

No entanto, o estudo também identificou desafios importantes que precisam ser superados para maximizar os benefícios dos biomateriais. Problemas relacionados à biocompatibilidade de longo prazo, à resistência mecânica em condições extremas e aos custos elevados ainda limitam a aplicabilidade universal de alguns materiais. Além disso, a necessidade de regulamentações mais rigorosas e de estudos clínicos de longo prazo para validar a segurança e a eficácia desses materiais foi amplamente ressaltada.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, Marcela Piassi *et al.* Processamento e aplicação de biomateriais poliméricos: avanços recentes e perspectivas. **Química Nova**, v. 44, p. 1311-1327, 2021. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/qn/a/vKBBYXBynTY5H3mbRRd5LNw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 jan. 2025.

BOTELHO, Lidiane Amaral; PÊGO, Leandro Mendonça; ROCHA, Yasmim Camargo Costa. Uso de biomateriais na odontologia: uma revisão de literatura. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, n. 1, 2024. Disponível em: <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/2739/3015>. Acesso em: 06 jan. 2025.

CHOJNACKA, Katarzyna; MOUSTAKAS, Konstantinos; MIKULEWICZ, Marcin. Biomateriais multifuncionais à base de celulose para aplicações odontológicas: Uma abordagem sustentável para a saúde bucal e regeneração. **Industrial Crops and Products**, v. 203, p. 117142, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092666902300907X>. Acesso em: 04 jan. 2025.

EUFRÁSIO, Jarleno; VERA, Juan Miguel Antezana; VERA, Saul Alfredo Antezana. O Uso de Biomateriais na Regeneração Óssea em Implantes Dentários. **Revista Sociedade Científica**, v. 7, n. 1, p. 4178-4189, 2024. Disponível em: <https://revista.scientificsociety.net/wp-content/uploads/2024/09/Art.242-2024.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2025.



FERREIRAJ, M. G.; SOUSAM, A. C.; SOUZAL, D. G.; PORTOM, T.; TAUMATURGOF, P.; SOUSAG, R.; LIMAS, R.; CAVALCANTES, K.; FERREIRAB, S. P.; MESQUITAV, T. Implantes de zircônia adicionada de fosfato tricálcio (TCP): propriedades mecânicas e biológicas. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 24, n. 11, e18066, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e18066.2024>. Acesso em: 04 jan. 2025.

FERMINO, Caetano Dartiere Zulian *et al.* Biomateriais metálicos: conceito, funcionamento e aplicações. **Revista SODEBRAS-Soluções Para o Desenvolvimento do País**, v. 19, n. 222, 2024. Disponível em: <https://revista.sodebras.com.br/index.php/revista/article/view/48/38>. Acesso em: 04 jan. 2025.

GOTE, Me Lia Dietrich-Rua Major. Principais biomateriais utilizados na técnica de levantamento de seio maxilar. **Revista de odontologia contemporânea**, v. 4, n. 1, p. 42 – 55, 2020. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/95503297/80-libre.pdf?1670627336=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPrincipais_Biomateriais_Utilizados_Na_Te.pdf&Expires=1738066987&Signature=eXyQZwwRN3lvvWP2Tplab4VGHEq2raOi26ZOLuc8DUrJC5U0LrZrKlzeUwNSmL4z2qSFD5xt7MxqEdSKjMFY2i4hf7bcuKew1HE6hDWW9G-QXnsiYotHJ8oagARdpTvzgdgsfPhBzymT4ivnjKK-SqSbrmpACTWWSxJBu1sfE2F5~BEYXzNQliGSrHXT4jXNyde105PQrEt8i4BSX5V6~UzxTO TGsKgC5YmwwkPMcagDP6jyYm97rFFmSwUDmIZQXKriuE3ReGICN4j9i6uunYp7o5Z80xf60N~YnkHsWh1ctqRizrGGA57WisEZ2N1gJGWV55ASvBHKYenYvdmKg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 07 jan. 2025.

KHAHOEN, Angkoon *et al.* Biomateriais e aplicação clínica de implantes dentários em relação à densidade óssea — Uma revisão narrativa. **Journal of Clinical Medicine**, v. 12, n. 21, p. 6924, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0383/12/21/6924>. Acesso em: 02 jan. 2025.

KHAROUF, Naji *et al.* Edição especial avanços recentes em biomateriais e doenças dentárias parte I. **Bioengineering**, v. 10, n. 1, p. 55, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5354/10/1/55>. Acesso em: 02 jan. 2025.

MARQUES, Diego César *et al.* Propriedades dos biomateriais para correção de defeitos ósseos na implantodontia. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 11, p. 1260-1266, 2024. Disponível em: <https://bjih.s.emnuvens.com.br/bjih/article/view/4346/4356>. Acesso em: 06 jan. 2025.

MOHAMMADI, Hossein *et al.* Avanços em biomateriais cerâmicos de nitreto de silício para aplicações odontológicas — Uma revisão. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 28, p. 2778-2791, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785423032507>. Acesso em: 02 jan. 2025.



MORAIS, Marcos Bernal. Biomateriais para reconstruções ósseas. **Journal of Multidisciplinary Dentistry**, v. 14, n. 1, p. 95-100, 2024. Disponível em: <https://www.jmdentistry.com/jmd/article/view/1055/307>. Acesso em: 06 jan. 2025.

OSTROVIDOV, Serge *et al.* Bioimpressão e biomateriais para regeneração de tecido alveolar dentário. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 11, p. 991821, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2023.991821/full>. Acesso em: 05 jan. 2025.

PINTO, João Paulo; DE MACEDO AZEVEDO, Matheus Pinto; DE OLIVEIRA, Josué Miguel. Aplicação dos biomateriais para regeneração óssea guiada na Implantodontia. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 7, n. 9, p. e74494-e74494, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/74494>. Acesso em: 04 jan. 2025.

SYCIŃSKA-DZIARNOWSKA, Magdalena *et al.* Nanopartículas de prata em odontologia: investigando perspectivas de pesquisa para biomateriais à base de prata. **Engineering Proceedings**, v. 56, n. 1, p. 130, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4591/56/1/130>. Acesso em: 02 jan. 2025.