

INFLUÊNCIA DAS MODIFICAÇÕES SUPERFICIAIS DOS IMPLANTES DENTÁRIOS NA OSSEOINTEGRAÇÃO: REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA

INFLUENCE OF DENTAL IMPLANT SURFACE MODIFICATIONS ON OSSEOINTEGRATION: A NARRATIVE LITERATURE REVIEW

INFLUENCIA DE LAS MODIFICACIONES SUPERFICIALES DE LOS IMPLANTES DENTALES EN LA OSTEOINTEGRACIÓN: UNA REVISIÓN NARRATIVA DE LA LITERATURA

Veronica Cristina Kuczmariski Gerhard¹

Jorge Fernando Cuadros Urteaga²

Ana Luiza Baú³

Pablo Felipe Bialobok Kuniski⁴

Carla Regina Massaro⁵

Sandra Raquel Medeiros Saito⁶

RESUMO: A superfície dos implantes dentários desempenha papel fundamental no processo de osseointegração, influenciando diretamente o sucesso clínico dos tratamentos reabilitadores. O presente estudo teve como objetivo revisar a literatura científica acerca da influência das características e modificações da superfície dos implantes na osseointegração. Trata-se de uma revisão narrativa da literatura realizada por meio de buscas nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scopus e Web of Science, utilizando descritores relacionados a implantes dentários, osseointegração e modificações superficiais. Foram incluídos estudos publicados preferencialmente entre 2024 e 2026, abrangendo revisões sistemáticas, meta-análises, revisões narrativas, consensos científicos e estudos experimentais. Os resultados demonstraram que propriedades como rugosidade, energia superficial, composição química, molhabilidade e nanotopografia exercem influência significativa sobre a adesão celular, diferenciação osteoblástica, angiogênese e remodelação óssea. Além disso, superfícies micro e nanoestruturadas, associadas a estratégias imunomoduladoras e bioativas, apresentam potencial para acelerar a formação óssea, melhorar a estabilidade clínica e reduzir complicações biológicas. Conclui-se que as modificações superficiais representam importante avanço na implantodontia contemporânea, embora estudos clínicos de longo prazo ainda sejam necessários para determinar as estratégias mais eficazes para diferentes condições clínicas.

Palavras-chave: Implantes dentários. Osseointegração. Biomateriais. Nanotecnologia.

¹Mestranda em Odontologia na Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

²Cirurgião Bucomaxilofacial pela Universidade Inca Garcilaso de la Vega.

³Pós-graduanda em Dentística na Associação Brasileira de Odontologia .

⁴Discente do curso de Odontologia na Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

⁵Mestre em Odontologia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

⁶Discente do curso de Odontologia na Faculdade Centro de Treinamento Acadêmico.

ABSTRACT: The surface of dental implants plays a fundamental role in the osseointegration process, directly influencing the clinical success of rehabilitative treatments. This study aimed to review the scientific literature regarding the influence of implant surface characteristics and modifications on osseointegration. It is a narrative literature review conducted via searches in the PubMed/MEDLINE, Scopus, and Web of Science databases, using keywords related to dental implants, osseointegration, and surface modifications. Studies published preferably between 2024 and 2026 were included, encompassing systematic reviews, meta-analyses, narrative reviews, scientific consensus statements, and experimental studies. The results demonstrated that properties such as roughness, surface energy, chemical composition, wettability, and nanotopography significantly influence cell adhesion, osteoblastic differentiation, angiogenesis, and bone remodeling. Furthermore, micro- and nanostructured surfaces, combined with immunomodulatory and bioactive strategies, show potential for accelerating bone formation, improving clinical stability, and reducing biological complications. It is concluded that surface modifications represent a significant advancement in contemporary implant dentistry, although long-term clinical studies are still needed to determine the most effective strategies for different clinical conditions.

Keywords: Dental implants. Osseointegration. Biomaterials. Nanotechnology.

RESUMEN: La superficie de los implantes dentales desempeña un papel fundamental en el proceso de osteointegración, influyendo directamente en el éxito clínico de los tratamientos restauradores. Este estudio tuvo como objetivo revisar la literatura científica sobre la influencia de las características y modificaciones de la superficie del implante en la osteointegración. Se trata de una revisión narrativa de la literatura realizada mediante búsquedas en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus y Web of Science, utilizando descriptores relacionados con implantes dentales, osteointegración y modificaciones de la superficie. Se incluyeron estudios publicados preferiblemente entre 2024 y 2026, que abarcan revisiones sistemáticas, metaanálisis, revisiones narrativas, declaraciones de consenso científico y estudios experimentales. Los resultados demostraron que propiedades como la rugosidad, la energía superficial, la composición química, la humectabilidad y la nanotopografía ejercen una influencia significativa en la adhesión celular, la diferenciación osteoblástica, la angiogénesis y la remodelación ósea. Además, las superficies micro y nanoestructuradas, asociadas a estrategias inmunomoduladoras y bioactivas, muestran potencial para acelerar la formación ósea, mejorar la estabilidad clínica y reducir las complicaciones biológicas. En conclusión, las modificaciones de la superficie representan un avance importante en la implantología dental contemporánea, aunque todavía se necesitan estudios clínicos a largo plazo para determinar las estrategias más efectivas para las diferentes condiciones clínicas.

Palabras clave: Implantes dentales. Osteointegración. Biomateriales. Nanotecnología.

INTRODUÇÃO

A reabilitação oral por meio de implantes dentários tornou-se uma das modalidades terapêuticas mais previsíveis e amplamente utilizadas na odontologia contemporânea, proporcionando restauração funcional e estética para pacientes parcial ou totalmente edêntulos. O elevado índice de sucesso clínico dos implantes está intimamente relacionado ao

estabelecimento da osseointegração, definida como uma conexão estrutural e funcional direta entre o osso vivo e a superfície do implante submetido à carga funcional. Entretanto, a obtenção e manutenção desse processo dependem da interação entre diversos fatores biológicos, mecânicos e relacionados ao biomaterial utilizado. (Jadhav et al., 2026; Kondo et al., 2024).

Desde a introdução dos implantes osseointegráveis de titânio por Branemark, avanços significativos têm sido alcançados no desenvolvimento de biomateriais e na engenharia de superfícies implantárias. Inicialmente, os implantes apresentavam superfícies predominantemente usinadas e lisas; contudo, observou-se que modificações topográficas e químicas poderiam potencializar a resposta biológica dos tecidos peri-implantares, acelerando a formação óssea e aumentando a previsibilidade clínica dos tratamentos. Atualmente, diferentes estratégias de modificação superficial, incluindo jateamento, condicionamento ácido, anodização, nanoestruturação e revestimentos bioativos, vêm sendo amplamente investigadas. (Abdo et al., 2025; Sharma et al., 2025; Alamoudi, 2024).

As propriedades físico-químicas da superfície implantária, como rugosidade, energia superficial, molhabilidade, composição química e nanotopografia, exercem papel fundamental nas etapas iniciais da cicatrização óssea. Essas características influenciam diretamente a adsorção de proteínas plasmáticas, a adesão celular, a diferenciação osteoblástica, a angiogênese e a remodelação óssea, determinando, conseqüentemente, a qualidade e a velocidade da osseointegração. Estudos recentes demonstram que superfícies micro e nanoestruturadas podem favorecer respostas celulares mais eficientes quando comparadas às superfícies convencionais, sobretudo em condições clínicas desafiadoras. (Romero-Serrano et al., 2024; Insua et al., 2024; Valente et al., 2026).

Além da influência sobre a neoformação óssea, as características superficiais dos implantes também podem interferir na resposta imunológica do hospedeiro e na susceptibilidade ao desenvolvimento de doenças peri-implantares. Atualmente, a osseointegração é compreendida como um processo dinâmico de osteoimunomodulação, no qual células inflamatórias, mediadores imunológicos e mecanismos epigenéticos participam ativamente da integração entre o biomaterial e o tecido ósseo. Nesse contexto, superfícies capazes de modular favoravelmente a resposta imune e reduzir a adesão bacteriana têm despertado crescente interesse científico. (Kondo et al., 2024; Kunrath et al., 2024; Wang et al., 2025).

Paralelamente, novas tendências em biomateriais vêm ampliando as possibilidades terapêuticas na implantodontia, incluindo o desenvolvimento de implantes de zircônia, superfícies bioativas multifuncionais e tecnologias baseadas em nanotecnologia e manufatura aditiva. Tais inovações visam não apenas acelerar a osseointegração, mas também promover melhor integração dos tecidos moles, maior estabilidade clínica em longo prazo e redução das complicações biológicas associadas aos implantes dentários. (Ciszyński et al., 2024; Alexander; Liu, 2026; Ahn et al., 2026).

Diante da constante evolução das tecnologias de modificação superficial e da importância da osseointegração para o sucesso clínico dos implantes dentários, torna-se fundamental compreender os mecanismos biológicos envolvidos e as evidências científicas disponíveis acerca da influência da superfície implantária sobre a resposta dos tecidos peri-implantares. Assim, o presente estudo tem como objetivo revisar e discutir a influência das diferentes características e modificações da superfície dos implantes dentários no processo de osseointegração, destacando seus impactos biológicos e clínicos. (Jadhav et al., 2026; Wang et al., 2025; Ahn et al., 2026).

MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, desenvolvida com o objetivo de analisar as evidências científicas disponíveis acerca da influência das características e modificações da superfície dos implantes dentários no processo de osseointegração.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scopus e Web of Science, utilizando artigos publicados preferencialmente entre os anos de 2024 e 2026. Foram empregados, isoladamente e em combinação, os seguintes descritores indexados nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e Medical Subject Headings (MeSH): "Dental Implants", "Osseointegration", "Surface Properties", "Surface Modification", "Nanotechnology", "Peri-Implant Diseases" e "Biomaterials".

Foram incluídos artigos de revisão sistemática, meta-análises, revisões narrativas, revisões de escopo, consensos científicos e estudos originais que abordassem a influência das propriedades superficiais dos implantes dentários sobre a osseointegração, metabolismo ósseo peri-implantar, resposta imunológica, integração dos tecidos moles e desenvolvimento de doenças peri-implantares.

Foram excluídos estudos duplicados, publicações que não abordavam diretamente a temática proposta, cartas ao editor, resumos de congressos, capítulos de livros, dissertações, teses e estudos que não apresentavam informações relevantes para os objetivos desta revisão.

Após a seleção, os estudos foram submetidos à leitura completa e análise qualitativa. As informações extraídas foram organizadas de forma descritiva e agrupadas em categorias temáticas relacionadas às características físico-químicas das superfícies implantárias, modificações micro e nanotopográficas, mecanismos imunológicos e epigenéticos, biomateriais emergentes e implicações clínicas para a osseointegração e manutenção da saúde peri-implantar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência das características superficiais dos implantes dentários sobre a osseointegração tem sido amplamente investigada nas últimas décadas, sendo reconhecida como um dos principais determinantes do sucesso clínico em implantodontia. A superfície do implante representa a primeira interface de contato entre o biomaterial e o organismo hospedeiro, sendo responsável por desencadear uma série de eventos biológicos fundamentais para o estabelecimento da osseointegração. Estudos recentes demonstram que propriedades como rugosidade, composição química, energia superficial, nanotopografia e macrogeometria exercem influência direta sobre a adsorção proteica, adesão celular, diferenciação osteoblástica, angiogênese e remodelação óssea. Dessa forma, o desenvolvimento de superfícies bioativas tem se consolidado como uma estratégia essencial para otimizar a previsibilidade dos tratamentos implantossuportados, especialmente em pacientes sistemicamente comprometidos ou com fatores de risco para falhas biológicas. (Jadhav et al., 2026; Valente et al., 2026).

Historicamente, os implantes de titânio com superfície usinada foram considerados o padrão ouro na implantodontia devido às suas propriedades mecânicas e biocompatibilidade. Entretanto, observou-se que superfícies lisas apresentavam limitações relacionadas à velocidade de formação óssea e à estabilidade inicial do implante. A partir dessa constatação, foram desenvolvidas diversas técnicas de modificação superficial, incluindo jateamento com partículas abrasivas, ataque ácido, anodização, deposição de revestimentos bioativos e tratamentos nanotecnológicos. Evidências recentes demonstram que superfícies moderadamente rugosas promovem maior área de contato osso-implante, aceleram a formação de tecido ósseo mineralizado e favorecem a obtenção de estabilidade secundária precoce. A

revisão sistemática realizada por Abdo et al. evidenciou que implantes submetidos a modificações superficiais apresentam elevadas taxas de sobrevivência clínica, reforçando a importância da engenharia de superfícies no sucesso em longo prazo dos implantes dentários. (Abdo et al., 2025; Romero-Serrano et al., 2024).

A rugosidade superficial constitui um dos parâmetros físicos mais estudados no contexto da osseointegração. O aumento controlado da rugosidade promove alterações na interação célula-material, favorecendo a adesão inicial de osteoblastos e células mesenquimais, além de estimular a produção de proteínas relacionadas à formação óssea. Segundo Romero-Serrano et al. (2024), superfícies moderadamente rugosas apresentam correlação positiva com maiores valores de estabilidade implantar, especialmente durante os primeiros meses após a instalação. Esses efeitos são atribuídos ao aumento da retenção do coágulo sanguíneo e ao estímulo à diferenciação osteoblástica. Contudo, a literatura também demonstra que superfícies excessivamente rugosas podem favorecer a retenção de biofilme bacteriano, aumentando a susceptibilidade ao desenvolvimento de mucosite e peri-implantite. Portanto, embora a rugosidade seja desejável para a formação óssea, seu grau deve ser cuidadosamente controlado para equilibrar os benefícios biológicos e os riscos microbiológicos. (Romero-Serrano et al., 2024; Wang et al., 2025; Rocuzzo et al., 2024).

Além das modificações micrométricas, a nanotecnologia emergiu como uma das áreas mais promissoras na engenharia de superfícies implantárias. Estruturas em escala nanométrica são capazes de mimetizar características presentes naturalmente na matriz extracelular óssea, promovendo respostas celulares mais fisiológicas. Técnicas como formação de nanotubos de dióxido de titânio, deposição de nanopartículas de cálcio e fosfato, revestimentos biomiméticos e funcionalização com biomoléculas têm demonstrado resultados favoráveis em estudos experimentais. Sharma et al. (2025) relataram que superfícies nanoestruturadas promovem aumento significativo da expressão gênica relacionada à osteogênese, incluindo marcadores como osteocalcina, osteopontina e fosfatase alcalina. Além disso, essas superfícies apresentam potencial para modular respostas inflamatórias locais, reduzindo a liberação de citocinas pró-inflamatórias e favorecendo um ambiente biológico mais propício ao reparo ósseo. (Alamoudi, 2024; Sharma et al., 2025).

Nos últimos anos, a compreensão dos mecanismos imunológicos envolvidos na osseointegração modificou substancialmente os conceitos tradicionais relacionados ao processo de cicatrização peri-implantar. Atualmente, a osseointegração é entendida como um fenômeno

dinâmico de osteoimunomodulação, no qual a resposta imune inicial desempenha papel determinante no sucesso ou fracasso da terapia implantar. Kondo, Yamada e Egusa (2024) demonstraram que a superfície do implante influencia diretamente a polarização de macrófagos, células fundamentais na regulação do processo inflamatório. A predominância do fenótipo M₂ está associada à resolução da inflamação, angiogênese e formação óssea, enquanto a persistência do fenótipo M₁ pode resultar em inflamação crônica e comprometimento da osseointegração. Dessa forma, o desenvolvimento de superfícies imunomoduladoras representa uma importante tendência na implantodontia contemporânea, com potencial para aumentar a previsibilidade clínica e reduzir complicações biológicas. (Kondo et al., 2024).

Além das respostas imunológicas convencionais, evidências recentes sugerem que as superfícies implantárias também são capazes de induzir modificações epigenéticas nas células peri-implantares. Essas alterações incluem modificações na metilação do DNA, expressão de microRNAs e remodelamento da cromatina, influenciando diretamente a expressão de genes relacionados à osteogênese, angiogênese e resposta inflamatória. A revisão de escopo conduzida por Kunrath et al. (2024) demonstrou que determinadas superfícies bioativas podem estimular mecanismos epigenéticos favoráveis à formação óssea e à manutenção da homeostase peri-implantar. Esses achados inauguram uma nova perspectiva para o desenvolvimento de implantes inteligentes, capazes de modular seletivamente vias moleculares específicas e otimizar a resposta biológica individualizada dos pacientes. (Kunrath et al., 2024).

Outro aspecto amplamente discutido na literatura refere-se à influência das condições sistêmicas sobre o metabolismo ósseo peri-implantar. Insua et al. (2024) destacam que doenças sistêmicas, como diabetes mellitus, osteoporose e distúrbios metabólicos, podem comprometer significativamente a remodelação óssea e aumentar o risco de falhas implantárias. Em pacientes diabéticos, por exemplo, a hiperglicemia persistente está associada à redução da atividade osteoblástica, aumento do estresse oxidativo e atraso na cicatrização óssea. Nesse cenário, superfícies bioativas surgem como ferramentas importantes para compensar essas limitações biológicas. Hong e Li (2025) verificaram que implantes submetidos a modificações nanotecnológicas apresentaram melhor adesão celular, maior deposição mineralizada e maior potencial osteogênico sob condições diabéticas quando comparados às superfícies convencionais. Esses resultados sugerem que a engenharia de superfícies pode desempenhar papel decisivo na ampliação das indicações clínicas da implantodontia em pacientes sistemicamente comprometidos. (Insua et al., 2024; Hong; Li, 2025).

A macrogeometria do implante também exerce influência significativa sobre a osseointegração. Características como formato do corpo implantar, desenho das roscas, conicidade e distribuição das tensões mecânicas podem modificar a estabilidade primária e interferir diretamente no comportamento biomecânico do sistema implante-osso. Valente et al. (2026) ressaltam que a associação entre macrogeometria otimizada e superfícies bioativas potencializa a estabilidade inicial e favorece a distribuição homogênea das cargas mastigatórias. Adicionalmente, Ahn et al. (2026) destacam que a integração entre biomateriais avançados, manufatura aditiva, impressão tridimensional e estratégias de engenharia tecidual representa o futuro da implantodontia, possibilitando o desenvolvimento de implantes personalizados e biologicamente inteligentes. (Valente et al., 2026; Ahn et al., 2026).

Embora os implantes de titânio continuem sendo amplamente utilizados, implantes confeccionados em zircônia têm despertado crescente interesse científico devido às suas propriedades ópticas e biológicas. A zircônia apresenta elevada resistência mecânica, excelente biocompatibilidade e coloração semelhante à estrutura dentária natural, favorecendo resultados estéticos superiores, especialmente em regiões anteriores. Além disso, estudos sugerem que superfícies de zircônia podem apresentar menor acúmulo bacteriano quando comparadas ao titânio, reduzindo potencialmente o risco de inflamação peri-implantar. Ciszyński et al. (2024) observaram que diferentes técnicas de modificação superficial aplicadas à zircônia, incluindo jateamento, tratamento a laser e revestimentos bioativos, foram capazes de melhorar significativamente o potencial osteogênico desse material. (Ciszyński et al., 2024).

Paralelamente à integração óssea, a integração dos tecidos moles peri-implantares vem sendo reconhecida como um componente essencial para a manutenção da saúde peri-implantar em longo prazo. Um selo mucoso estável atua como barreira biológica contra a penetração bacteriana, protegendo os tecidos subjacentes da inflamação crônica. Alexander e Liu (2026) destacam que a otimização da adesão de fibroblastos e células epiteliais à superfície do implante constitui uma das prioridades atuais da pesquisa em biomateriais. Estratégias que favoreçam simultaneamente a formação óssea e a integração dos tecidos moles podem contribuir significativamente para a redução da incidência de doenças peri-implantares e aumento da longevidade dos implantes. (Alexander; Liu, 2026).

Apesar dos importantes avanços tecnológicos observados nas últimas décadas, as doenças peri-implantares continuam representando um dos principais desafios clínicos na

implantodontia. O consenso conjunto da AO/AAP destaca que fatores relacionados à superfície do implante podem influenciar tanto o estabelecimento quanto a progressão das doenças peri-implantares. Superfícies excessivamente rugosas, embora favoráveis à osseointegração, apresentam maior dificuldade de descontaminação quando acometidas por peri-implantite. Rocuzzo et al. (2024) ressaltam que a descontaminação cirúrgica dessas superfícies permanece limitada, comprometendo frequentemente os resultados terapêuticos. Conseqüentemente, a busca por superfícies capazes de promover rápida osseointegração e, simultaneamente, minimizar a adesão bacteriana representa uma das principais linhas de investigação da implantodontia contemporânea. (Wang et al., 2025; Rocuzzo et al., 2024).

De maneira geral, os resultados disponíveis na literatura demonstram que a superfície do implante exerce influência decisiva sobre a qualidade e a previsibilidade da osseointegração. Superfícies micro e nanoestruturadas, associadas a propriedades imunomoduladoras, bioativas e antibacterianas, apresentam elevado potencial para acelerar a formação óssea, melhorar a estabilidade clínica e reduzir complicações biológicas. Entretanto, ainda são necessários estudos clínicos longitudinais e ensaios randomizados de longo prazo para estabelecer protocolos padronizados e determinar quais estratégias de modificação superficial oferecem os melhores resultados clínicos em diferentes cenários sistêmicos e locais. (Abdo et al., 2025; Sharma et al., 2025; Jadhav et al., 2026; Wang et al., 2025).

Outro fator que merece destaque é a energia superficial e a molhabilidade dos implantes dentários. A capacidade da superfície em interagir com fluidos biológicos influencia diretamente a adsorção inicial de proteínas plasmáticas, evento considerado essencial para a cascata de reparo ósseo. Superfícies hidrofílicas apresentam maior afinidade com o sangue, favorecendo a formação e estabilização do coágulo sanguíneo imediatamente após a instalação do implante. Essa condição proporciona um microambiente mais favorável para a migração celular, angiogênese e deposição de matriz óssea. Estudos recentes demonstram que implantes com elevada energia superficial apresentam maior contato osso-implante e redução do tempo necessário para a obtenção da estabilidade secundária, possibilitando protocolos de carga precoce ou imediata em situações clínicas selecionadas. (Sharma et al., 2025; Jadhav et al., 2026).

A composição química da superfície implantária também exerce influência significativa sobre os eventos biológicos iniciais. Modificações químicas por meio da incorporação de íons bioativos, como cálcio, fósforo, magnésio, estrôncio e zinco, têm demonstrado capacidade de estimular a diferenciação osteoblástica e aumentar a atividade mineralizante. Esses elementos

atuam na regulação de vias de sinalização celular relacionadas à osteogênese, promovendo maior expressão de proteínas da matriz óssea e acelerando o processo de maturação do tecido peri-implantar. Além disso, superfícies funcionalizadas com moléculas bioativas e fatores de crescimento vêm sendo estudadas como estratégia para potencializar ainda mais a resposta regenerativa local. (Ahn et al., 2026; Alamoudi, 2024; Sharma et al., 2025).

O desenvolvimento de revestimentos bioativos representa outra importante inovação na engenharia de superfícies implantárias. Revestimentos à base de hidroxiapatita, fosfato de cálcio, peptídeos osteogênicos e proteínas da matriz extracelular têm sido amplamente investigados devido à sua capacidade de mimetizar a composição natural do tecido ósseo. Esses biomateriais favorecem a osteocondução e podem atuar como substratos para a adesão celular, acelerando a neoformação óssea ao redor do implante. Entretanto, apesar dos resultados promissores observados em estudos experimentais, ainda existem desafios relacionados à estabilidade mecânica, durabilidade dos revestimentos e previsibilidade clínica em longo prazo. (Sharma et al., 2025; Ahn et al., 2026; Jadhav et al., 2026).

Nos últimos anos, a utilização de tecnologias de manufatura aditiva, especialmente a impressão tridimensional (3D), vem ampliando significativamente as possibilidades de personalização das superfícies implantárias. Essa tecnologia permite a fabricação de implantes com porosidade controlada e arquitetura tridimensional personalizada, possibilitando melhor distribuição das tensões mecânicas e maior intertravamento biológico entre os tecidos ósseos e a superfície do implante. Além disso, estruturas porosas tridimensionais favorecem a vascularização local e a infiltração celular, aspectos fundamentais para a manutenção da osseointegração em longo prazo. A associação entre manufatura aditiva e nanotecnologia poderá representar uma importante evolução no desenvolvimento de implantes de próxima geração. (Ahn et al., 2026; Valente et al., 2026).

A prevenção das doenças peri-implantares também tem direcionado o desenvolvimento de novas superfícies implantárias. Atualmente, pesquisadores buscam criar superfícies com propriedades antimicrobianas capazes de reduzir a adesão e proliferação bacteriana sem comprometer a atividade osteoblástica. Estratégias envolvendo a incorporação de nanopartículas de prata, cobre, zinco e agentes antimicrobianos vêm demonstrando resultados promissores na redução da formação de biofilme. No entanto, ainda existem preocupações relacionadas à biocompatibilidade, potencial citotóxico e estabilidade desses materiais ao longo

do tempo, reforçando a necessidade de investigações adicionais antes de sua ampla aplicação clínica. (Wang et al., 2025; Alamoudi, 2024; Ahn et al., 2026).

Adicionalmente, observa-se crescente interesse no desenvolvimento de superfícies multifuncionais, capazes de desempenhar simultaneamente funções osteogênicas, imunomoduladoras e antimicrobianas. Esses sistemas biomiméticos procuram reproduzir de forma mais fiel o ambiente biológico natural, promovendo não apenas a formação óssea acelerada, mas também a manutenção da homeostase dos tecidos peri-implantares. Segundo Kunrath et al. (2024), a capacidade de modular respostas celulares por mecanismos epigenéticos poderá possibilitar, futuramente, a criação de implantes personalizados de acordo com o perfil biológico de cada paciente, inaugurando uma nova era na implantodontia de precisão. (Kunrath et al., 2024; Kondo et al., 2024).

Embora os avanços tecnológicos tenham proporcionado melhorias expressivas nas taxas de sucesso dos implantes dentários, a escolha da superfície ideal ainda permanece controversa. A heterogeneidade metodológica dos estudos, as diferenças nos protocolos experimentais e a escassez de ensaios clínicos randomizados de longo prazo dificultam a comparação direta entre as diferentes tecnologias disponíveis. Dessa forma, a seleção da superfície implantária deve considerar não apenas as características do biomaterial, mas também fatores relacionados ao paciente, como qualidade óssea, condições sistêmicas, hábitos comportamentais e risco para doenças peri-implantares. (Abdo et al., 2025; Wang et al., 2025; Jadhav et al., 2026).

Por fim, as evidências científicas atuais sugerem que o futuro da implantodontia estará fundamentado na integração entre biomateriais inteligentes, nanotecnologia, engenharia tecidual, medicina regenerativa e terapias personalizadas. O desenvolvimento de superfícies capazes de responder dinamicamente às condições biológicas do hospedeiro, estimulando seletivamente processos de regeneração e defesa imunológica, poderá revolucionar a previsibilidade clínica dos tratamentos implantossuportados nas próximas décadas. (Ahn et al., 2026; Sharma et al., 2025; Kunrath et al., 2024).

CONCLUSÃO

As evidências científicas analisadas demonstram que a superfície do implante exerce papel fundamental no processo de osseointegração, influenciando diretamente os eventos biológicos iniciais e a manutenção da estabilidade óssea peri-implantar em longo prazo. Características como rugosidade, composição química, energia superficial, molhabilidade e

nanotopografia modulam a adsorção proteica, a adesão celular, a diferenciação osteoblástica e a remodelação óssea, sendo determinantes para o sucesso clínico dos implantes dentários. (Jadhav et al., 2026; Romero-Serrano et al., 2024).

As modificações micro e nanoestruturais das superfícies implantárias mostraram-se capazes de acelerar a formação óssea, aumentar a estabilidade secundária e favorecer respostas imunológicas mais equilibradas, contribuindo para uma osseointegração mais rápida e previsível. Além disso, superfícies bioativas, imunomoduladoras e funcionalizadas com biomoléculas representam estratégias promissoras para otimizar o desempenho clínico dos implantes, especialmente em pacientes com condições sistêmicas desfavoráveis, como diabetes mellitus e alterações metabólicas. (Sharma et al., 2025; Hong; Li, 2025; Kondo et al., 2024).

Paralelamente, o desenvolvimento de biomateriais avançados, incluindo implantes de zircônia, revestimentos bioativos e tecnologias baseadas em nanotecnologia e manufatura aditiva, amplia as perspectivas para a implantodontia contemporânea. Entretanto, apesar dos avanços observados, ainda existem limitações relacionadas à heterogeneidade metodológica dos estudos e à escassez de ensaios clínicos randomizados de longo prazo, dificultando a determinação de uma superfície ideal aplicável a todas as situações clínicas. (Ciszyński et al., 2024; Ahn et al., 2026; Valente et al., 2026).

Dessa forma, conclui-se que a escolha da superfície implantária deve ser individualizada, considerando não apenas as características do biomaterial, mas também os fatores sistêmicos e locais relacionados ao paciente. Novas pesquisas clínicas e translacionais são necessárias para consolidar protocolos baseados em evidências e desenvolver superfícies inteligentes capazes de promover simultaneamente rápida osseointegração, integração tecidual estável e prevenção das doenças peri-implantares. (Wang et al., 2025; Kunrath et al., 2024; Alexander; Liu, 2026).

REFERÊNCIAS

1. ABDO, V. L.; VIEIRA-SILVA, I. F.; DIAS, B. M. F.; DE ARRUDA, J. A. A.; BARREIROS, I. D.; SAMPAIO, A. A.; ABREU, L. G.; JARDILINO, F. D. M. Success and survival of titanium surface modification on dental implant osseointegration: a systematic review. *British Dental Journal*, London, v. 239, n. 8, p. 571-577, 2025. DOI: 10.1038/s41415-025-8813-1.
2. AHN, Y.; DESAI, P. K.; RAINEY, A.; AYALA-ORTIZ, J. L.; PONNAZHAGAN, S.; GILBERT, S. R.; JUN, H. W.; CHEON, K. Innovations in implant osseointegration: biomaterials, surface engineering, and translational strategies. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, Hoboken, v. 114, n. 4, e70081, 2026. DOI: 10.1002/jbm.a.70081.

3. ALAMOUDI, A. Nanoengineering and surface modifications of dental implants. *Cureus, Palo Alto*, v. 16, n. 1, e51526, 2024. DOI: 10.7759/cureus.51526.
4. ALEXANDER, R.; LIU, X. Soft tissue integration around dental implants: a pressing priority. *Biomaterials, Amsterdam*, v. 324, 123491, 2026. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2025.123491.
5. CISZYŃSKI, M.; CHWALISZEWSKI, B.; SIMKA, W.; DOMINIAK, M.; GEDRANGE, T.; HADZIK, J. Zirconia dental implant designs and surface modifications: a narrative review. *Materials, Basel*, v. 17, n. 17, p. 4202, 2024. DOI: 10.3390/ma17174202.
6. HONG, L. E.; LI, H. The effect of different surface modifications on the osseointegration of dental implant under diabetic conditions: a systematic review and meta-analysis of in vitro research. *Journal of Evidence-Based Dental Practice, St. Louis*, v. 25, n. 3, 102170, 2025. DOI: 10.1016/j.jebdp.2025.102170.
7. INSUA, A.; GALINDO-MORENO, P.; MIRON, R. J.; WANG, H. L.; MONJE, A. Emerging factors affecting peri-implant bone metabolism. *Periodontology 2000, Copenhagen*, v. 94, n. 1, p. 27-78, 2024. DOI: 10.1111/prd.12532.
8. JADHAV, L.; MADIWAL, V.; RAJWADE, J. M. The dental implant surface: a review of the past, present and future. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine, London*, v. 37, n. 1, p. 21, 2026. DOI: 10.1007/s10856-025-06997-x.
9. KONDO, T.; YAMADA, M.; EGUSA, H. Innate immune regulation in dental implant osseointegration. *Journal of Prosthodontic Research, Tokyo*, v. 68, n. 4, p. 511-521, 2024. DOI: 10.2186/jpr.JPR_D_23_00198.
10. KUNRATH, M. F.; GARAICOA-PAZMINO, C.; GIRALDO-OSORNO, P. M.; HAJ MUSTAFA, A.; DAHLIN, C.; LARSSON, L.; ASA'AD, F. Implant surface modifications and their impact on osseointegration and peri-implant diseases through epigenetic changes: a scoping review. *Journal of Periodontal Research, Copenhagen*, v. 59, n. 6, p. 1095-1114, 2024. DOI: 10.1111/jre.13273.
11. ROCCUZZO, M.; MIRRA, D.; ROCCUZZO, A. Surgical treatment of peri-implantitis. *British Dental Journal, London*, v. 236, n. 10, p. 803-808, 2024. DOI: 10.1038/s41415-024-7405-9.
12. ROMERO-SERRANO, M.; ROMERO-RUIZ, M. M.; HERRERO-CLIMENT, M.; RIOS-CARRASCO, B.; GIL-MUR, J. Correlation between implant surface roughness and implant stability: a systematic review. *Dentistry Journal, Basel*, v. 12, n. 9, p. 276, 2024. DOI: 10.3390/dj12090276.
13. SHARMA, P.; MISHRA, V.; MURAB, S. Unlocking osseointegration: surface engineering strategies for enhanced dental implant integration. *ACS Biomaterials Science & Engineering, Washington, DC*, v. 11, n. 1, p. 67-94, 2025. DOI: 10.1021/acsbmaterials.4c01178.
14. VALENTE, P.; SBRENNNA, L.; MASCOLO, A.; SBRENNNA, A.; VALENTE, F. Dental implant macro-morphology and surface characteristics: a narrative review. *Cureus, Palo Alto*, v. 18, n. 4, e106541, 2026. DOI: 10.7759/cureus.106541.
15. WANG, H. L.; AVILA-ORTIZ, G.; MONJE, A.; KUMAR, P.; CALATRAVA, J.; AGHALOO, T.; BAROOTCHI, S.; FIORELLINI, J. P.; GALARRAGA-VINUEZA, M. E.; KAN, J.; LIN, G. H.; RAVIDA, A.; SALEH, M. H. A.; TAVELLI, L.; AO/AAP CONSENSUS PARTICIPANTS; ROSEN, P. S. AO/AAP consensus on prevention and management of peri-implant diseases and conditions: summary report. *Journal of Periodontology, Chicago*, v. 96, n. 6, p. 519-541, 2025. DOI: 10.1002/JPER.25-0270.