



**PBPC**  
ISSN 2674-9432



**Qualis A3**  
CAPES 2021-2024



DOI - Crossref

Latindex

Indexado no  
Google Acadêmico

## **Influência das características da superfície dos implantes dentários na osseointegração**

Eduarda Rasweiler Faccio , João Henrique Rolde, Veronica Cristina Kuczarski Gerhard, Gabriel Fatel Coelho, Yohana Rafaela Reticena, Weidson Carlos de Almeida Gonçalves, Cleiton Luiz de Almeida , Bruna Figueiredo Novack , Carla Vitória Mota Cavalcante Lima , Jonas de Souza Nunes , Guilherme Israel Stein



<https://doi.org/10.36557/2674-9432.2026v5n1p1179-1191>

Artigo recebido em 4 de Dezembro e publicado em 4 de Fevereiro de 2026

### **Revisão integrativa de literatura**

#### **RESUMO**

A osseointegração é um processo biológico fundamental para o sucesso dos implantes dentários, sendo diretamente influenciada pelas características da superfície do implante. O presente artigo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão narrativa da literatura, a influência das modificações de superfície dos implantes dentários sobre a osseointegração, considerando aspectos topográficos, físico-químicos e biológicos. A literatura demonstra que superfícies lisas apresentam desempenho inferior quando comparadas às superfícies tratadas, especialmente aquelas com rugosidade moderada, as quais promovem maior contato osso-implante, melhor estabilidade secundária e maior previsibilidade clínica. Tratamentos como jateamento seguido de ataque ácido, anodização, modificação a laser e aplicação de revestimentos bioativos mostraram-se eficazes na estimulação da adesão celular, diferenciação osteoblástica e formação óssea peri-implantar. Além disso, avanços recentes na nanotecnologia e na engenharia de superfícies indicam perspectivas promissoras para o desenvolvimento de implantes bioativos capazes de modular a resposta inflamatória e favorecer a homeostase óssea. Entretanto, a literatura também ressalta a importância da avaliação da biocompatibilidade, segurança e toxicidade dos revestimentos utilizados, bem como da interação entre a superfície do implante e os tecidos moles peri-implantares. Conclui-se que a superfície do implante é um dos principais fatores controláveis pelo clínico no planejamento reabilitador, exercendo papel decisivo na osseointegração e na longevidade dos implantes dentários, embora ainda existam desafios e questões a serem esclarecidas por estudos clínicos de longo prazo.

**Palavras-chave:** Implantes Dentários; Osseointegração; Interface Osso-Implante; Cicatrização; Biomateriais.

## **Influence of dental implant surface characteristics on osseointegration**

### **ABSTRACT**

Osseointegration is a fundamental biological process for the success of dental implants, being directly influenced by the characteristics of the implant surface. This article aimed to analyze, through a narrative literature review, the influence of surface modifications of dental implants on osseointegration, considering topographic, physicochemical, and biological aspects. The literature demonstrates that smooth surfaces perform worse compared to treated surfaces, especially those with moderate roughness, which promote greater bone-implant contact, better secondary stability, and greater clinical predictability. Treatments such as sandblasting followed by acid etching, anodizing, laser modification, and application of bioactive coatings have proven effective in stimulating cell adhesion, osteoblastic differentiation, and peri-implant bone formation. Furthermore, recent advances in nanotechnology and surface engineering indicate promising prospects for the development of bioactive implants capable of modulating the inflammatory response and promoting bone homeostasis. However, the literature also highlights the importance of evaluating the biocompatibility, safety, and toxicity of the coatings used, as well as the interaction between the implant surface and the peri-implant soft tissues. It is concluded that the implant surface is one of the main factors controllable by the clinician in rehabilitation planning, playing a decisive role in osseointegration and the longevity of dental implants, although challenges and questions remain to be clarified by long-term clinical studies.

**Keywords:** Dental Implants; Osseointegration; Bone-Implant Interface; Wound Healing; Biomaterials.

**Instituição afiliada** – Universidade Paranaense - UNIPAR

**Autor correspondente:** *Veronica Cristina Kuczmariski Gerhard*

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



## **1 INTRODUÇÃO**

A osseointegração é definida como a conexão estrutural e funcional direta entre o osso vivo e a superfície do implante sob carga funcional, sendo um dos pilares fundamentais do sucesso da implantodontia moderna. Desde os estudos pioneiros até os avanços atuais, a compreensão dos mecanismos biológicos envolvidos evoluiu significativamente, destacando a importância da interface osso-implante e das características físico-químicas da superfície implantável no processo de cicatrização óssea e manutenção a longo prazo. A literatura contemporânea enfatiza que a superfície do implante exerce papel decisivo na modulação da resposta celular, na estabilidade primária e secundária e na previsibilidade clínica dos tratamentos reabilitadores (Guglielmotti et al., 2019; Buser et al., 2017).

Ao longo das últimas décadas, diversas modificações de superfície foram desenvolvidas com o objetivo de acelerar a osseointegração e melhorar a qualidade do contato osso-implante. Alterações na rugosidade, topografia micro e nanotexturizada, composição química e energia superficial têm demonstrado influência direta sobre a adesão proteica, a diferenciação osteoblástica e o remodelamento ósseo peri-implantar. Além disso, materiais alternativos ao titânio, como zircônia, vêm sendo amplamente estudados quanto à sua capacidade de osseointegração e resposta tecidual (Bosshardt et al., 2017; Rupp et al., 2018).

Recentemente, fatores emergentes relacionados ao metabolismo ósseo peri-implantar, à resposta inflamatória e à interação com tecidos moles passaram a ser considerados elementos críticos no sucesso dos implantes dentários. Aspectos como bioatividade de superfícies, segurança biológica de revestimentos e aplicações de nanotecnologia têm ampliado o horizonte da implantodontia, reforçando a necessidade de uma análise integrada entre engenharia de superfície e biologia óssea (Insua et al., 2024; Gulati et al., 2023).

## **2 METODOLOGIA**

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, com abordagem qualitativa, cujo objetivo foi analisar a influência das características da

superfície dos implantes dentários no processo de osseointegração. A seleção dos estudos foi realizada a partir de publicações científicas relevantes na área de implantodontia, considerando diferentes desenhos metodológicos, incluindo estudos experimentais in vitro, pesquisas em modelos animais, ensaios clínicos em humanos, revisões sistemáticas e meta-análises.

Foram incluídos estudos que abordaram diretamente a relação entre as modificações de superfície dos implantes dentários e a osseointegração, avaliando parâmetros biológicos, histológicos, biomecânicos ou clínicos, como contato osso-implante, estabilidade primária e secundária, formação óssea e resposta celular. Também foram considerados artigos disponíveis na íntegra, publicados em língua inglesa e com metodologia claramente descrita. Foram excluídos trabalhos que não apresentaram relação direta com a influência da superfície do implante na osseointegração, estudos voltados exclusivamente a aspectos protéticos ou cirúrgicos sem correlação com características de superfície, relatos de caso, séries de casos, artigos duplicados ou com dados sobrepostos, bem como publicações com informações metodológicas insuficientes ou resultados inconclusivos.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os estudos analisados demonstram de forma consistente que as características da superfície dos implantes dentários exercem influência direta sobre os eventos biológicos iniciais da osseointegração, incluindo adsorção proteica, adesão celular, proliferação osteoblástica e remodelação óssea. Evidências acumuladas ao longo de décadas indicam que superfícies lisas apresentam menor contato osso-implante e menor estabilidade secundária quando comparadas a superfícies modificadas, especialmente aquelas com rugosidade moderada, consideradas atualmente o padrão clínico para implantes osseointegráveis (Buser et al., 2017; Guglielmotti et al., 2019).

A rugosidade superficial destaca-se como um dos fatores mais investigados na literatura, sendo associada ao aumento da área de contato e à melhora da ancoragem mecânica inicial. Superfícies moderadamente rugosas favorecem a formação de osso trabecular diretamente sobre o implante, resultando em maior porcentagem de contato osso-implante e melhor distribuição de cargas funcionais. Esses achados são

consistentes em estudos histológicos e biomecânicos, tanto em modelos animais quanto em humanos (Rupp et al., 2018; Hao et al., 2021).

Os tratamentos de superfície por jateamento seguido de ataque ácido (SLA) apresentam resultados amplamente favoráveis e previsíveis, sendo associados a maior estabilidade secundária e melhor resposta óssea precoce. A combinação de macro, micro e, mais recentemente, nanotopografias tem sido apontada como um fator-chave para a otimização da osseointegração, ao mimetizar a estrutura do osso natural e favorecer a adesão celular seletiva (Puleo & Thomas, 2006; Sivaswamy & Bahl, 2023).

Além da topografia, a composição química da superfície do implante exerce papel essencial na resposta biológica. O titânio comercialmente puro e suas ligas apresentam excelente biocompatibilidade, entretanto, superfícies modificadas quimicamente demonstram maior capacidade de interação com proteínas séricas e células ósseas. Estudos comparativos indicam que implantes de zircônia também apresentam potencial osseointegrável satisfatório, embora ainda existam questionamentos quanto à sua previsibilidade clínica em longo prazo quando comparados ao titânio (Bosshardt et al., 2017).

A energia superficial e a hidrofiliabilidade dos implantes têm sido associadas à aceleração da cicatrização óssea inicial. Superfícies hidrofílicas favorecem a rápida adsorção de proteínas plasmáticas e a adesão de osteoblastos, reduzindo o tempo necessário para o estabelecimento da estabilidade secundária. Esses efeitos são particularmente relevantes em situações clínicas de baixa densidade óssea ou carga precoce (Luke Yeo, 2022; van Oirschot et al., 2022).

Resultados provenientes de modelos animais e análises histomorfométricas demonstram que diferentes tratamentos de superfície produzem respostas ósseas distintas, sendo observada superioridade das superfícies tratadas em relação às lisas no que diz respeito à formação óssea peri-implantar. Meta-análises recentes reforçam que a modificação de superfície é um dos principais determinantes da estabilidade do implante, independentemente do desenho macrogeométrico (Hao et al., 2021).

No contexto das superfícies bioativas, revestimentos funcionalizados com compostos químicos ou biológicos têm demonstrado potencial significativo na

estimulação da diferenciação osteogênica. Evidências *in vitro* e *in vivo* indicam que superfícies recobertas com aminas, fosfatos de cálcio ou estruturas nanotexturizadas promovem aumento da expressão de marcadores osteoblásticos e aceleração do processo de osseointegração (Salamanca et al., 2024; Shayeb et al., 2024).

A nanotecnologia aplicada à implantodontia representa um avanço relevante ao permitir o controle preciso da interação célula–superfície. Superfícies nanotopográficas são capazes de modular respostas celulares específicas, favorecendo a osteogênese e reduzindo a colonização bacteriana. Esse conceito sustenta a perspectiva futura de implantes “bioativos inteligentes”, capazes de atuar além da função mecânica tradicional (Gulati et al., 2023).

Entretanto, apesar dos benefícios associados às superfícies modificadas, a literatura ressalta a necessidade de avaliação rigorosa quanto à segurança e toxicidade dos revestimentos utilizados. Estudos recentes alertam para possíveis efeitos adversos relacionados à liberação de partículas, íons metálicos ou compostos químicos, reforçando a importância de protocolos de validação biológica antes da aplicação clínica em larga escala (Ozkan et al., 2023).

Outro aspecto relevante refere-se à interação entre a superfície do implante e os tecidos moles peri-implantares. A qualidade do selamento mucoso influencia diretamente a estabilidade óssea marginal e a prevenção de doenças peri-implantares. Evidências indicam que determinadas superfícies favorecem melhor adesão epitelial e conjuntiva, contribuindo para a manutenção da saúde peri-implantar (Ivanovski & Lee, 2018).

Fatores emergentes relacionados ao metabolismo ósseo peri-implantar, como resposta inflamatória, microbiota local e condições sistêmicas do paciente, têm sido cada vez mais incorporados às discussões sobre osseointegração. A superfície do implante pode modular esses fatores ao influenciar a resposta imunológica local, destacando-se como um elemento estratégico no controle da perda óssea marginal (Insua et al., 2024).

No contexto da reosseointegração, especialmente em casos de peri-implantite tratada, estudos indicam que superfícies modificadas a laser apresentam resultados

promissores na recuperação do contato osso–implante. A tecnologia laser tem demonstrado potencial para descontaminação eficiente e estímulo à neoformação óssea, embora ainda sejam necessários estudos clínicos de longo prazo (Patil et al., 2023).

De modo geral, os resultados consolidados na literatura indicam que não existe uma superfície ideal universal, mas sim superfícies mais adequadas para diferentes contextos clínicos. A seleção do implante deve considerar fatores locais, sistêmicos e biomecânicos, bem como o tipo de superfície e sua interação com os tecidos peri-implantares (Buser et al., 2017; Guglielmotti et al., 2019).

Apesar do progresso significativo observado nos últimos 50 anos, permanecem questões em aberto relacionadas à longevidade clínica, comportamento dos tecidos moles e resposta biológica em pacientes com condições sistêmicas comprometedoras. Esses desafios reforçam a necessidade de pesquisas contínuas e de abordagens multidisciplinares envolvendo biologia óssea, engenharia de materiais e clínica odontológica (Bosshardt et al., 2017; Insua et al., 2024).

A literatura demonstra que a interação inicial entre a superfície do implante e o coágulo sanguíneo é um evento crítico para o sucesso da osseointegração. As propriedades físico-químicas da superfície influenciam diretamente a organização do coágulo, a migração celular e a liberação de fatores de crescimento, estabelecendo o microambiente necessário para a osteogênese. Superfícies com maior energia superficial favorecem essa cascata biológica inicial, promovendo uma resposta tecidual mais eficiente e previsível (Puleo & Thomas, 2006; Luke Yeo, 2022).

Estudos histológicos clássicos e contemporâneos demonstram que superfícies tratadas induzem maior formação óssea direta, reduzindo a presença de tecido fibroso na interface osso–implante. Esse fenômeno é particularmente relevante durante a fase de estabilidade secundária, na qual a qualidade do osso neoformado passa a ser determinante para o sucesso funcional do implante sob carga mastigatória (Guglielmotti et al., 2019; Buser et al., 2017).



No que se refere à macro e microgeometria, observa-se que a topografia superficial atua de maneira sinérgica com o desenho do implante. Embora o presente estudo foque nas características de superfície, é evidente que a resposta óssea não depende exclusivamente de um único fator isolado, mas da interação entre múltiplos parâmetros biomecânicos e biológicos, reforçando a complexidade do processo de osseointegração (Bosshardt et al., 2017).

A comparação entre implantes de titânio e zircônia tem sido amplamente explorada, especialmente devido à crescente demanda estética e às preocupações relacionadas à biocompatibilidade. Embora ambos os materiais apresentem capacidade de osseointegração, o titânio permanece como o padrão-ouro, em razão de sua previsibilidade clínica e maior volume de evidências científicas. A zircônia, por sua vez, demonstra resultados promissores, porém ainda carece de estudos longitudinais robustos que confirmem sua estabilidade em longo prazo (Bosshardt et al., 2017; Rupp et al., 2018).

Superfícies funcionalizadas com revestimentos bioativos representam uma abordagem inovadora ao permitir não apenas a integração passiva ao osso, mas também a indução ativa da resposta biológica. Evidências indicam que coatings com compostos orgânicos e inorgânicos podem modular a diferenciação osteoblástica e acelerar o processo de cicatrização, sendo especialmente úteis em condições ósseas desfavoráveis (Salamanca et al., 2024; Shayeb et al., 2024).

Entretanto, a incorporação de revestimentos bioativos exige avaliação criteriosa quanto à estabilidade química e segurança biológica. Estudos toxicológicos alertam para possíveis efeitos adversos decorrentes da degradação de determinados coatings, enfatizando que o desenvolvimento de superfícies avançadas deve priorizar não apenas a bioatividade, mas também a biocompatibilidade a longo prazo (Ozkan et al., 2023).

A nanotopografia surge como um dos campos mais promissores da implantodontia contemporânea. Estruturas em escala nanométrica são capazes de influenciar o comportamento celular de forma mais específica, modulando a adesão,

proliferação e diferenciação de osteoblastos, além de interferir na resposta inflamatória local. Esses avanços reforçam a perspectiva de superfícies “inteligentes”, capazes de interagir dinamicamente com o ambiente biológico (Gulati et al., 2023; van Oirschot et al., 2022).

No contexto das doenças peri-implantares, a superfície do implante também desempenha papel central. A interação entre biofilme bacteriano, tecidos moles e osso peri-implantar pode ser influenciada pelas características superficiais, impactando diretamente o risco de inflamação e perda óssea marginal. Superfícies que favorecem um selamento mucoso mais eficiente tendem a apresentar melhor prognóstico clínico (Ivanovski & Lee, 2018).

Estudos recentes têm destacado a importância de fatores sistêmicos e metabólicos na osseointegração, como diabetes, osteoporose e alterações imunológicas. A superfície do implante pode atuar como um modulador dessas condições, influenciando a resposta óssea local mesmo em pacientes com comprometimento sistêmico, o que amplia a relevância clínica da engenharia de superfícies (Insua et al., 2024).

No cenário da reabilitação de implantes comprometidos, a reosseointegração representa um desafio clínico significativo. Evidências sugerem que superfícies tratadas a laser apresentam maior potencial de descontaminação e estímulo à neoformação óssea, configurando-se como uma alternativa promissora no tratamento da peri-implantite, embora ainda existam limitações metodológicas nos estudos disponíveis (Patil et al., 2023).

As revisões sistemáticas e meta-análises analisadas reforçam que, apesar da diversidade de tratamentos de superfície disponíveis comercialmente, os implantes com superfícies moderadamente rugosas continuam apresentando os melhores resultados clínicos globais. A padronização desses tratamentos contribuiu significativamente para o aumento das taxas de sucesso e sobrevida dos implantes dentários ao longo das últimas décadas (Hao et al., 2021; Sivaswamy & Bahl, 2023).

Por fim, a análise integrada dos resultados evidencia que o sucesso da osseointegração não depende exclusivamente da superfície do implante, mas de uma interação complexa entre fatores biológicos, mecânicos e clínicos. Ainda assim, a superfície permanece como um dos poucos fatores passíveis de controle direto pelo cirurgião-dentista, destacando sua importância estratégica no planejamento reabilitador (Buser et al., 2017; Guglielmotti et al., 2019).

#### **4 CONCLUSÃO**

A partir da análise da literatura científica, evidencia-se que as características da superfície dos implantes dentários exercem influência decisiva sobre os eventos biológicos envolvidos na osseointegração, desde a formação inicial do coágulo sanguíneo até a manutenção da estabilidade óssea peri-implantar em longo prazo. Modificações de superfície, especialmente aquelas que promovem rugosidade moderada, maior energia superficial e bioatividade, demonstram resultados superiores em termos de contato osso-implante, diferenciação osteoblástica e previsibilidade clínica quando comparadas às superfícies lisas convencionais. Esses achados reforçam o papel da engenharia de superfícies como um dos principais avanços da implantodontia moderna, permitindo maior controle da resposta biológica e ampliação das possibilidades terapêuticas, inclusive em situações clínicas desafiadoras.

Além disso, os avanços recentes em nanotecnologia, revestimentos bioativos e superfícies funcionalizadas apontam para um futuro promissor na reabilitação com implantes dentários, no qual a interação entre o implante e os tecidos peri-implantares pode ser modulada de forma mais precisa e individualizada. Entretanto, apesar dos resultados favoráveis, persistem desafios relacionados à segurança biológica, à toxicidade potencial de determinados revestimentos e à necessidade de evidências clínicas de longo prazo. Dessa forma, a escolha da superfície do implante deve ser criteriosa e baseada em evidências científicas, considerando as condições locais e sistêmicas do paciente, enquanto novas pesquisas continuam sendo essenciais para consolidar protocolos clínicos cada vez mais previsíveis e seguros.

## 5 REFERÊNCIAS

BOSSHARDT, D. D.; CHAPPUIS, V.; BUSER, D. **Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions.** *Periodontology 2000*, v. 73, n. 1, p. 22–40, 2017.

BUSER, D.; SENNERBY, L.; DE BRUYN, H. **Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions.** *Periodontology 2000*, v. 73, n. 1, p. 7–21, 2017.

GUGLIELMOTTI, M. B.; OLMEDO, D. G.; CABRINI, R. L. **Research on implants and osseointegration.** *Periodontology 2000*, v. 79, n. 1, p. 178–189, 2019.

GULATI, K. et al. **Fit and forget: The future of dental implant therapy via nanotechnology.** *Advanced Drug Delivery Reviews*, v. 199, p. 114900, 2023.

HAO, C. P. et al. **The osseointegration and stability of dental implants with different surface treatments in animal models: a network meta-analysis.** *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 13849, 2021.

INSUA, A. et al. **Emerging factors affecting peri-implant bone metabolism.** *Periodontology 2000*, v. 94, n. 1, p. 27–78, 2024.

IVANOVSKI, S.; LEE, R. **Comparison of peri-implant and periodontal marginal soft tissues in health and disease.** *Periodontology 2000*, v. 76, n. 1, p. 116–130, 2018.

LUKE YEO, I. S. **Dental implants: Enhancing biological response through surface modifications.** *Dental Clinics of North America*, v. 66, n. 4, p. 627–642, 2022.

OZKAN, A. et al. **Dental implants and implant coatings: A focus on their toxicity and safety.** *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, v. 42, n. 2, p. 31–48, 2023.

PATIL, S. et al. **Efficacy of laser in re-osseointegration of dental implants: a systematic review.** *Lasers in Medical Science*, v. 38, n. 1, p. 199, 2023.



PULEO, D. A.; THOMAS, M. V. **Implant surfaces**. Dental Clinics of North America, v. 50, n. 3, p. 323–338, 2006.

RUPP, F. et al. **Surface characteristics of dental implants: A review**. Dental Materials, v. 34, n. 1, p. 40–57, 2018.

SALAMANCA, E. et al. **Allylamine coating on zirconia dental implant surface promotes osteogenic differentiation in vitro and accelerates osseointegration in vivo**. Clinical Oral Implants Research, v. 35, n. 9, p. 1101–1113, 2024.

SHAYEB, M. A. et al. **Bioactive surface modifications on dental implants: a systematic review and meta-analysis of osseointegration and longevity**. Clinical Oral Investigations, v. 28, n. 11, p. 592, 2024.

SIVASWAMY, V.; BAHL, V. **Surface modifications of commercial dental implant systems: An overview**. Journal of Long-Term Effects of Medical Implants, v. 33, n. 2, p. 71–77, 2023.

VAN OIRSCHOT, B. A. J. A. et al. **Surface engineering for dental implantology: Favoring tissue responses along the implant**. Tissue Engineering Part A, v. 28, n. 11–12, p. 555–572, 2022.