

DESENVOLVIMENTO DE IMPLANTES DENTÁRIOS COM SUPERFÍCIE FUNCIONALIZADA POR NANOTECNOLOGIA PARA MELHORAR OSTEOINTEGRAÇÃO E EFEITO ANTIMICROBIANO: UMA REVISÃO DO ESTADO DA ARTE¹

DEVELOPMENT OF DENTAL IMPLANTS WITH SURFACE FUNCTIONALIZED BY NANOTECHNOLOGY TO IMPROVE OSTEOINTEGRATION AND ANTIMICROBIAL EFFECT: A STATE-OF-THE-ART REVIEW

**Marcos Vinicius Pasqualoto Prior², Walter Paixão de Sousa Filho³,
Leandro da Silva de Medeiros⁴, Dirce Stein Backes⁵,
Michele Rorato Sagrillo⁶ e Luiz Fernando Rodrigues Junior⁷**

RESUMO

Este estudo se concentrou na avaliação contínua do aprimoramento de tratamentos de superfície para implantes dentários, dadas as crescentes expectativas de vida da população e a presença de condições de saúde que podem afetar adversamente a integração dos implantes. O objetivo central deste trabalho foi investigar diferentes abordagens de revestimento de superfície em implantes dentários, visando melhorar as propriedades de osteointegração e a eficácia antibacteriana. Para alcançar este objetivo, foi realizada a revisão de artigos sobre superfícies funcionalizadas usando nanoestruturas e nanopartículas, a fim de otimizar a osteointegração e a resistência ao crescimento de bactérias. Esse trabalho foi conduzido em três fases: Fase 1: realização de uma pesquisa abrangente na literatura científica relacionada ao tratamento de superfície em implantes dentários. Fase 2: seleção criteriosa dos artigos relevantes para o tema. Fase 3: descrição detalhada dos artigos selecionados e seus respectivos métodos de pesquisa. A pesquisa bibliográfica envolveu a consulta a diversas bases de dados, incluindo Scielo, ScienceDirect e PubMed, utilizando descritores como “Antibacterial”, “Nanoparticles”, “Titanium” e “Coating Titanium”. Após a análise criteriosa dos artigos, um total de 16 estudos relacionados a tratamentos de superfície em implantes, nanoestruturas, nanopartículas e seus efeitos foram identificados e analisados. A partir destes resultados foi possível verificar a importância da área de nanomateriais para o desenvolvimento de produtos para saúde feitos em titânio, demonstrando que seu uso é indicado para implantes dentários. Além disso, pode-se concluir que essas tecnologias podem ter um impacto expressivo nos novos tratamentos, aumentando a sua eficiência e qualidade ao paciente.

Palavras-chave: Antibacteriano, Titânio, Eletroforese, Implante, Osteointegração.

¹ Trabalho de Iniciação Tecnológica

² Acadêmico da Engenharia Biomédica. Universidade Franciscana - UFN. E-mail: marcos.prior@ufn.edu.br

³ Doutorando do programa de Pós-Graduação em Nanociências. Universidade Franciscana - UFN. E-mail: walter.paixao@ufn.edu.br

⁴ Mestrando do Mestrado Profissional em Saúde Materno Infantil. Universidade Franciscana - UFN. E-mail: leandro.medeiros@ufn.edu.br

⁵ Professora do Mestrado Profissional em Saúde Materno Infantil. Universidade Franciscana - UFN. E-mail: backesdirce@ufn.edu.br

⁶ Professora do Programa de Pós-Graduação em Nanociências. Universidade Franciscana - UFN. E-mail: sagrillomr@ufn.edu.br

⁷ Professor do Mestrado Profissional em Saúde Materno Infantil. Universidade Franciscana - UFN. E-mail: luiz.fernando@ufn.edu.br

ABSTRACT

This study focused on the continuous assessment of surface treatment improvements for dental implants, given the increasing life expectancy of the population and the presence of health conditions that can adversely affect implant integration. The central objective of this work was to investigate different surface coating approaches in dental implants, aiming to enhance osteointegration properties and antibacterial effectiveness. To achieve this goal, a review of articles on functionalized surfaces using nanostructures and nanoparticles was conducted to optimize osteointegration and resistance to bacterial growth. This work was conducted in three phases: Phase 1: Comprehensive literature review related to surface treatment in dental implants. Phase 2: Careful selection of relevant articles on the subject. Phase 3: Detailed description of the selected articles and their respective research methods. The literature search involved consulting various databases, including Scielo, ScienceDirect, and PubMed, using descriptors such as “Antibacterial,” “Nanoparticles,” “Titanium,” and “Coating Titanium.” After thorough analysis of the articles, a total of 16 studies related to surface treatments in implants, nanostructures, nanoparticles, and their effects were identified and examined. From these results, it was possible to verify the importance of the nanomaterials field for the development of health products made of titanium, demonstrating its suitability for dental implants. Furthermore, it can be concluded that these technologies can have a significant impact on new treatments, enhancing their efficiency and quality for the patient.

Keywords: *Antibacterial, Titanium, Electrophoresis, Implant, Osteointegration.*

INTRODUÇÃO

Nos tempos contemporâneos a busca pela qualidade de vida tornou-se uma prioridade global, impulsionada pela crescente consciência sobre a importância do bem-estar físico e social (ALGHAMDI; JANSEN, 2020). Essa nova consciência da sociedade gera uma procura pela saúde bucal e o aumento do uso de implantes dentários. Dados de mercado apresentam a comercialização de aproximadamente 800 mil implantes e cerca de 2,4 milhões de componentes de próteses dentárias por ano no Brasil (DA PENHA JUNIOR, 2018). A Associação Brasileira da Indústria de Dispositivos Médicos (ABIMO) em seus relatórios anuais demonstra um crescimento contínuo do mercado nos últimos 5 anos (ABIMO, 2024).

Contudo, não é a totalidade de implantes que são colocados nos pacientes que funcionam. Fatores como algumas patologias podem comprometer a integração do implante com o osso e a diminuição da imunidade em alguns pacientes aumenta a complexidade desses procedimentos (LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015; LUKE YEO, 2022; VAN OIRSCHOT *et al.*, 2022). Ademais, a perda prematura dos implantes dentários decorre de condições clínicas, que dificultam a inserção do implante junto ao osso, podendo levar a infecções, inflamação, fratura do implante e condições médicas subjacentes do paciente. Nos séculos passados, o procedimento de criação de implantes dentários era conduzido sem uma abordagem científica, a desconsiderar o modo como o corpo reage aos materiais e como estes interagem com o organismo (LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015).

Para evitar esses resultados indesejados, a utilização de nanopartículas e nanoestruturas surgem como uma ferramenta valiosa para aprimorar as propriedades dos implantes, a fim de garantir a segurança

e eficácia necessárias para atender às necessidades dos pacientes (ALGHAMDI; JANSEN, 2020; LUKE YEO, 2022). A nanotecnologia tem o potencial de gerar novas propriedades, como a encontrada nos nanotubos de dióxido de titânio, que dificultam a adesão de biofilmes bacterianos, minimizando complicações pós-operatórias e melhorando a recuperação dos pacientes (ALGHAMDI; JANSEN, 2020; HOSSAIN *et al.*, 2022; JAMBHULKAR *et al.*, 2023; SU *et al.*, 2018). A utilização de nanopartículas, como óxido de zinco (ZnO), óxido de magnésio (MgO), óxido de prata (AgO) e fluoreto de estrôncio (SrF₂), desempenham um papel fundamental na criação de uma superfície funcionalizada para implantes dentários, com a capacidade de proporcionar um efeito antimicrobiano duradouro à superfície dos implantes. Essa estratégia não apenas promove a osteointegração do implante, mas também atua como uma barreira eficaz contra a colonização bacteriana (HOSSAIN *et al.*, 2022; SU *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2021).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo, realizar uma revisão da literatura científica relacionada à aplicação da nanotecnologia e alteração da superfície dos implantes com materiais nanotecnológicos a fim de melhorar sua osteointegração e a capacidade antibacteriana de implantes dentários.

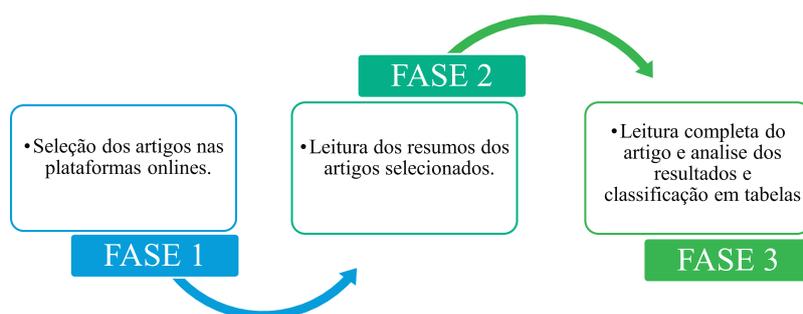
MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão bibliográfica abrangendo tópicos sobre as problemáticas decorrentes dos implantes dentários. A busca pelos artigos foi realizada em diversas plataformas online. A coleta dos artigos foi dividida em 3 fases (Figura 1). Fase 1: a coleta de artigos; Fase 2: a seleção e classificação dos artigos; Fase 3: análises dos resultados.

Este trabalho foi baseado na seguinte pergunta: “*como melhorar as propriedades dos implantes dentários por meio da nanotecnologia?*”. Esta pergunta serviu de guia para realizar a busca dos artigos, com os descritores “Antibacterial activity” AND “Titanium nanotubes” AND “Electrophoresis” AND “dental implant” AND “antibacterial nanoparticles” AND “coating surface”.

Os critérios de inclusão foram os seguintes: o artigo deve ter sido publicado entre 2013 e 2023, deve estar escrito em língua inglesa, apresentar resultados e abordar o tema da pergunta norteadora. Os critérios de exclusão foram: trabalhos fora do intervalo de tempo delimitado e fuga da pergunta norteadora.

Figura 1 - Fase de seleção dos artigos



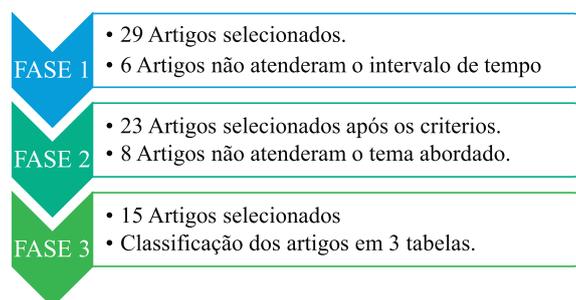
Fonte: Próprio autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta um resumo do processo de filtragem dos artigos para a construção deste trabalho. Ao longo das etapas de avaliação e escolha dos artigos foram encontrados um total de 29 artigos, sendo descartados 14 desses, finalizando o processo de revisão com 15 artigos.

Durante o processo de seleção dos artigos para este trabalho foi confeccionado as tabelas a seguir divididas em 3 tópicos, Situação de implantes dentários; nanopartículas e suas propriedades e nanoestruturas na superfície de implantes.

Figura 2 - Filtragem dos artigos ao decorrer da pesquisa



Fonte: Próprio autor.

SITUAÇÃO DOS IMPLANTES DENTÁRIOS

Na Tabela 1 são apresentados os artigos que abordam os principais problemas no uso dos implantes dentários. Dentre estes, pode-se destacar a fratura dos implantes, os processos de infecção e inflamação e a falha na osteointegração dos implantes (LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015).

Avaliando a história da construção e produção de implantes dentários nos últimos séculos, percebe-se que a tecnologia aplicada era basicamente obtida de forma empírica. Os materiais utilizados, em muitos casos, eram obtidos a partir de produtos naturais, tais como chifres, ossos e pedras preciosas (ALGHAMDI; JANSEN, 2020). Não haviam estudos científicos com esses materiais improvisados, tampouco sobre os tratamentos superficiais possíveis e sobre a sua biocompatibilidade. Em 1970, as mudanças nas superfícies dos implantes dentários mostraram-se um fator importante para a biocompatibilidade do material. Modificações químicas com a hidroxiapatita e processos como a anodização do titânio (Ti), trouxeram grandes avanços aos produtos e uma melhor qualidade de vida aos pacientes (LUKE YEO, 2022).

Osteointegração

O processo de osteointegração é a interação de um implante ou prótese com o tecido ósseo. Esse processo envolve diversos mecanismos biológicos e suas interações com a superfície do implante.

O estudo desse mecanismo possibilita aprimorar esses processos com o uso de substâncias para auxiliar o desenvolvimento celular dos tecidos circundantes. A osteointegração pode ser dividida em 3 fases: osteocondução; formação óssea e remodelação óssea.(LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015; SU *et al.*, 2018)

Osteocondução: o implante atua como um guia para o crescimento do tecido ósseo e fornece um substrato para a adesão celular. Uma das características principais é a molhabilidade da superfície do material, pois essa auxilia no desenvolvimento celular e a formação dos primeiros tecidos ósseos ligados ao implante. (HUO *et al.*, 2013; LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015)

Formação óssea: há um aumento significativo na deposição de material ósseo ao redor do implante. As células ósseas continuam a proliferar e gradualmente se incorporam ao tecido ósseo adjacente, promovendo a integração entre o implante e o osso circundante. Este processo é de extrema importância para assegurar a estabilidade inicial do implante (HUO *et al.*, 2013; LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015)

Remodelação óssea: o osso ao redor do implante passa por um processo de remodelação. Isso envolve a adaptação do osso às forças funcionais exercidas sobre ele durante a mastigação e outras atividades. Durante a remodelação óssea, ocorre a substituição do osso antigo por osso novo, resultando em uma estrutura óssea mais forte e adaptada ao implante(HUO *et al.*, 2013; JAMBHULKAR *et al.*, 2023; LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015).

Tabela 1 - Situação de implantes dentários.

Situação de implantes dentários	Comentário	Referência	País de origem
Dental Implants	Moléculas funcionalizadas para osteointegração	(LUKE YEO, 2022)	Coreia do Sul
Dental Implant Complications	Problemas mecânicos, infecção e inflamação em implantes dentários	(LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015)	Estados Unidos
The development and future of dental implants	Comorbidades que afetam a cicatrização e métodos para melhorar as propriedades dos implantes	(ALGHAMDI; JANSEN, 2020)	Japão

Esses estudos demonstraram a relevância do produto implantado apresentar alta biocompatibilidade com os tecidos adjacentes, aceitabilidade farmacológica e inércia química. Essas três características são de suma importância para se minimizar a falha na osteointegração e os processos de inflamação e infecção, pois esses podem ocasionar à perda prematura do implante. Para se evitar essa perda prematura e se obter produtos com melhores propriedades, as modificações da superfície, por meio da nanotecnologia, tornam-se uma importante ferramenta no desenvolvimento da nova classe de implantes dentários (ALGHAMDI; JANSEN, 2020; LIAW; DELFINI; ABRAHAMS, 2015; LUKE YEO, 2022).

NANOPARTÍCULAS E SUAS PROPRIEDADES

As nanopartículas são amplamente estudadas em pesquisas odontológicas, principalmente com foco em propriedades antimicrobianas, aumento da biocompatibilidade e melhora nas propriedades físicas e mecânicas dos implantes (HOSSAIN *et al.*, 2022; LUKE YEO, 2022). Dentre as diversas nanopartículas existentes pode-se destacar as nanopartículas de óxido de magnésio (MgO), óxido de zinco (ZnO), óxido de prata (AgO) e fluoreto de estrôncio (SrF₂). Na Tabela 2 são apresentados os artigos avaliados e que apresentam estudos referentes ao uso destas nanopartículas.

Tabela 2 - Nanopartículas e suas propriedades.

Nanopartículas e suas propriedades	Comentário	Referência	País de origem
Advances of nanoparticles employment in dental implant applications	Propriedade de nanopartículas em implantes dentários	(HOSSAIN <i>et al.</i> , 2022)	Bangladesh
In vitro biodegradability-bioactivity-bio-compatibility and antibacterial properties of SrF ₂ nanoparticles synthesized by one-pot and eco-friendly method based on ternary strontium chloride-choline chloride-water deep eutectic system	Estudo sobre a nanopartícula de SrF ₂ em testes in vitro e suas propriedades com biodegradabilidade biocompatibilidade e antibacteriana.	(KARIMI; HESARAKI; NEZAFATI, 2018)	Irã
Photocatalytic and antibacterial activities of green synthesized Ag doped MgO nanocomposites towards environmental sustainability	Síntese antibacteriana de oxido de prata e oxido magnésio e seus efeitos	(PANCHAL <i>et al.</i> , 2022)	Índia
Tetracycline-loaded magnesium oxide nanoparticles with a potential bactericidal action against multidrug-resistant bacteria: In vitro and in vivo evidence	Utilização de oxido de magnésio tetracíclico com agente antimicrobiano	(DAS <i>et al.</i> , 2022)	Índia

As características antimicrobianas e o estímulo das células do tecido ósseo às nanopartículas possibilitam uma vasta aplicabilidade nos tratamentos de superfície dos implantes de Ti. Dentre as propriedades que podem ser geradas usando nanotecnologia pode-se citar a biodegradabilidade, bioatividade, biocompatibilidade e propriedades antibacterianas (DAS *et al.*, 2022; KARIMI; HESARAKI; NEZAFATI, 2018; PANCHAL *et al.*, 2022) impedindo situações indesejadas para o paciente como inflamação, infecção e falha na osteointegração.

NANOESTRUTURAS NA SUPERFÍCIE DOS IMPLANTES

A nanotecnologia possibilita também a criação de nanoestruturas diretamente sobre a superfície do Ti, conforme apresentado na Tabela 3. A mudança topográfica da superfície possibilita melhora nas propriedades mecânicas e químicas do material como a molhabilidade e rugosidade da superfície do implante, também a energia livre de superfície, para melhorar a progressão celular e efeito antimicrobiano (JAMBHULKAR *et al.*, 2023; SU *et al.*, 2018; VAN OIRSCHOT *et al.*, 2022).

Tabela 3 - Nanoestruturas na superfície dos implantes.

Nanoestruturas na superfície dos implantes	Comentário	Referência	País de origem
Surface Engineering for Dental Implantology: Favoring Tissue Responses Along the Implant.	Melhoramento do tratamento de superfície em implantes dentários.	(VAN OIRSCHOT <i>et al.</i> , 2022)	Brasil
Effects of titanium nanotubes on the osseointegration, cell differentiation, mineralisation and antibacterial properties of orthopaedic implant surfaces.	Efeito de nanotubos de titânio e propriedades osteointegrativas e antimicrobianas.	(SU <i>et al.</i> , 2018)	Estados Unidos
A review on surface modification of dental implants among various implant materials.	Estudo sobre modificação superficial em implantes com propriedades físicas e químicas.	(JAMBHULKAR <i>et al.</i> , 2023)	Índia
Characterization and mechanical properties of TiO ₂ nanotubes formed on titanium by anodic oxidation.	Síntese de nanotubos de titânio, com características diferentes características como comprimento e diâmetro.	(DURDU <i>et al.</i> , 2021b)	Turquia
Understanding and optimizing the antibacterial functions of anodized nano-engineered titanium implants.	Titânio anodizado possibilita maior bioatividade celular.	(CHOPRA; GULATI; IVANOVSKI, 2021)	Austrália
Antibacterial surface design of biomedical titanium materials for orthopedic applications.	Novos estudos sobre propriedades superfícies, gera melhoramento de propriedades dos implantes dentários.	(YUAN <i>et al.</i> , 2021)	China
Osteogenic activity and antibacterial effects on titanium surfaces modified with Zn-incorporated nanotube arrays.	Tratamento de superfície gera efeitos osteointegrativo aumentada e propriedade antibacteriano. Em implantes dentários de titânio.	(HUO <i>et al.</i> , 2013)	China

Um dos métodos de engenharia de superfície com o Ti é o processo de anodização seguido de um tratamento térmico para evidenciar as fases de dióxido de titânio (TiO₂) (DURDU *et al.*, 2021a). Além disso, a criação de nanotubos de TiO₂ acarreta no aumento da bioatividade e a possibilidade de liberação local de fármacos (CHOPRA; GULATI; IVANOVSKI, 2021; YUAN *et al.*, 2021).

O estudo de Huo *et al.* (2013) traz a combinação dos nanotubos de TiO₂ com as nanopartículas de zinco (Zn-NP), gerando um efeito de osteogênese e características antibacterianas aos novos produtos (HUO *et al.*, 2013). A possibilidade de decorar/preencher os nanotubos de TiO₂ com nanopartículas abre um leque de novas possibilidades para os estudos, combinando estas duas nanotecnologias para a evolução dos implantes de Ti.

CONCLUSÃO

O advento da nanotecnologia e a vasta aplicabilidade das nanopartículas e nanoestruturas possibilitaram uma nova área de estudo sobre o tratamento de superfície em implantes dentários. A possibilidade de combinações de nanopartículas com nanotubos de TiO₂ permitem a construção de

implantes com uma superfície funcionalizada. Essa nova superfície agrega ao produto propriedades tais como: bioatividade, biocompatibilidade, propriedades antibacterianas e osteointegrativas. Essas novas características são principalmente importantes em pacientes com diabetes, por exemplo, que apresentam dificuldades nos processos metabólicos de cicatrização e recuperação pós-operatória.

REFERÊNCIAS

ALGHAMDI, H. S.; JANSEN, J. A. The development and future of dental implants. **Dental Materials Journal**, v. 39, n. 2, p. 167-172, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-140>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE DISPOSITIVOS MÉDICOS (ABIMO). Dados econômicos, 2023. Disponível em: <https://abimo.org.br/dados-do-setor/dados-economicos/>. Acesso em: 26 fev. 2024.

CHOPRA, D.; GULATI, K.; IVANOVSKI, S. Understanding and optimizing the antibacterial functions of anodized nano-engineered titanium implants. **Acta Biomaterialia**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.03.027>

DA PENHA JUNIOR, N. L. Valor, mercado e preço em implantodontia. Implantes são todos iguais? **Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo**, v. 29, n. 3, p. 268, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.26843/ro_unicidv2932017p268-275

DAS, S.; VISHAKHA, K.; BANERJEE, S.; NAG, D.; GANGULI, A. Tetracycline-loaded magnesium oxide nanoparticles with a potential bactericidal action against multidrug-resistant bacteria: In vitro and in vivo evidence. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 217, p. 112688, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2022.112688>. Acesso em: 10 ago. 2022.

DURDU, S.; CIHAN, G.; YALCIN, E.; ALTINKOK, A. Characterization and mechanical properties of TiO₂ nanotubes formed on titanium by anodic oxidation. **Ceramics International**, v. 47, n. 8, p. 10972-10979, 2021 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.12.218>

DURDU, S.; CIHAN, G.; YALCIN, E.; ALTINKOK, A. Characterization and mechanical properties of TiO₂ nanotubes formed on titanium by anodic oxidation. **Ceramics International**, v. 47, n. 8, p. 10972-10979, 2021 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2020.12.218>

HOSSAIN, N.; ISLAM, M. A.; CHOWDHURY, M. A.; ALAM, A. Advances of nanoparticles employment in dental implant applications. **Applied Surface Science Advances**, v. 12, n. October, p. 100341, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2022.100341>

HUO, K.; ZHANG, X.; WANG, H.; ZHAO, L.; LIU, X.; CHU, P. K. Osteogenic activity and anti-bacterial effects on titanium surfaces modified with Zn-incorporated nanotube arrays. **Biomaterials**, v. 34, n. 13, p. 3467-3478, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2013.01.071>

JAMBHULKAR, N.; JAJU, S.; RAUT, A.; BHONEJA, B. A review on surface modification of dental implants among various implant materials. **Materials Today: Proceedings**, v. 72, p. 3209-3215, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.022>

KARIMI, M.; HESARAKI, S.; NEZAFATI, N. In vitro biodegradability-bioactivity-biocompatibility and antibacterial properties of SrF₂ nanoparticles synthesized by one-pot and eco-friendly method based on ternary strontium chloride-choline chloride-water deep eutectic system. **Ceramics International**, v. 44, n. 11, p. 12877-12885, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.04.098>

LIAW, K.; DELFINI, R. H.; ABRAHAMS, J. J. Dental Implant Complications. **Seminars in Ultrasound, CT and MRI**, v. 36, n. 5, p. 427-433, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1053/j.sult.2015.09.007>. Acesso em: 17 abr. 2023.

LUKE YEO, I.-S. Dental Implants. **Dental Clinics of North America**, v. 66, n. 4, p. 627-642, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cden.2022.05.009>

PANCHAL, P.; PAUL, D. R.; GAUTAM, S.; MEENA, P.; NEHRA, S. P.; MAKEN, S.; SHARMA, A. Photocatalytic and antibacterial activities of green synthesized Ag doped MgO nanocomposites towards environmental sustainability. **Chemosphere**, v. 297, p. 134182, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134182>. Acesso em: 6 ago. 2022.

SU, E. P.; JUSTIN, D. F.; PRATT, C. R.; SARIN, V. K.; NGUYEN, V. S.; OH, S.; JIN, S. Effects of titanium nanotubes on the osseointegration, cell differentiation, mineralisation and antibacterial properties of orthopaedic implant surfaces. **Bone and Joint Journal**, v. 100B, n. 1, p. 9-16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B1.BJJ-2017-0551.R1>

VAN OIRSCHOT, B. A. J. A.; ZHANG, Y.; ALGHAMDI, H. S.; CORDEIRO, J. M.; NAGAY, B. E.; BARAO, V. A. R.; DE AVILA, E. D.; VAN DEN BEUCKEN, J. J. J. P. Surface Engineering for Dental Implantology: Favoring Tissue Responses Along the Implant. **Tissue Engineering Part A**, v. 28, n. 11-12, p. 555-572, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/ten.tea.2021.0230>

WANG, C.; WANG, X.; LU, R.; GAO, S.; LING, Y.; CHEN, S. Responses of human gingival fibroblasts to superhydrophilic hydrogenated titanium dioxide nanotubes. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 198, p. 111489, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2020.111489>

YUAN, Z.; HE, Y.; LIN, C.; LIU, P.; CAI, K. **Antibacterial surface design of biomedical titanium materials for orthopedic applications**. [S. l.]: Chinese Society of Metals, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.10.066>