



ISSN 2674-8169



Qualis B3
2021-2024

Latindex



DOI

Google
Acadêmico

TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE A LASER EM IMPLANTES DE ZIRCÔNIA: IMPACTO SOBRE A RESPOSTA CELULAR E BIOATIVIDADE TECIDUAL

Célio Augusto Pimentel Arcanjo, Thayana Mirian de Oliveira Ramos, Michael Pereira da Silva, Pedro Correia da Silva Neto, Breno da Cunha Ramos, Letícia Gabrielle Gomes Braz, Aline Ramalho de Oliveira, Maria Eduarda Rohoff Valasques, Lorrane Tatiele Gomes Dimas, Lais Assis Calvo, Carla Maria Melleiro Gimenez, Glaicy Vieira de Aquino, Larissa dos Santos Lopes, Renato Brito da Silva, Luiz Henrique do Nascimento Velocci, Otavio Henrique da Silva Leal, Briane Cristina da Silva, Juliane Siqueira Belchior, Aline Gabriely Campelo Melo, Rodney Capp Pallotta



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n6p723-737>

Artigo recebido em 12 Maio e publicado em 12 de Junho de 2026

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

Os implantes de zircônia vêm sendo amplamente estudados na implantodontia devido às suas propriedades estéticas, elevada biocompatibilidade, resistência à corrosão e estabilidade química. Entretanto, a natureza bioinerte de sua superfície pode limitar os eventos biológicos iniciais relacionados à osseointegração, tornando necessária a utilização de técnicas capazes de aumentar sua bioatividade. Nesse contexto, o tratamento de superfície a laser tem despertado interesse por possibilitar a criação de micro e nanotopografias controladas capazes de favorecer a interação entre o biomaterial e os tecidos peri-implantares. O presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão da literatura, o impacto do tratamento de superfície a laser em implantes de zircônia sobre a resposta celular e a bioatividade tecidual. Para isso, foram consultadas publicações científicas recentes que abordaram modificações superficiais a laser, adesão celular, proliferação osteoblástica, integração dos tecidos moles e osseointegração de implantes de zircônia. Os estudos analisados demonstraram que a texturização a laser promove aumento da rugosidade, da energia superficial e da molhabilidade do material, favorecendo a adesão de osteoblastos, fibroblastos gengivais e proteínas envolvidas na regeneração tecidual. Além disso, verificou-se potencial influência positiva sobre a formação óssea e sobre o estabelecimento de um selamento mucoso mais eficiente ao redor dos implantes. Apesar dos resultados promissores, observou-se heterogeneidade entre os protocolos empregados e escassez

de estudos clínicos de longo prazo. Conclui-se que o tratamento de superfície a laser representa uma estratégia promissora para otimizar o desempenho biológico dos implantes de zircônia, podendo contribuir para a melhoria da osseointegração e da estabilidade peri-implantar.

Palavras-chave: Implantes Dentários. Zircônia. Tratamento a Laser. Osseointegração. Bioatividade. Biocompatibilidade.

Surgical Approaches in Fractures of the Lower Orbital Rims

ABSTRACT

Zirconia implants have been widely investigated in implant dentistry due to their esthetic properties, high biocompatibility, corrosion resistance, and chemical stability. However, the bioinert nature of their surface may limit the early biological events involved in osseointegration, making surface modification strategies necessary to enhance their bioactivity. In this context, laser surface treatment has attracted considerable attention because it enables the creation of controlled micro- and nanotopographies capable of improving the interaction between biomaterials and peri-implant tissues. This study aimed to analyze, through a literature review, the impact of laser surface treatment on zirconia implants regarding cellular response and tissue bioactivity. Recent scientific publications addressing laser surface modifications, cell adhesion, osteoblastic proliferation, soft tissue integration, and osseointegration of zirconia implants were evaluated. The reviewed studies demonstrated that laser texturing increases surface roughness, surface energy, and wettability, promoting the adhesion of osteoblasts, gingival fibroblasts, and proteins involved in tissue regeneration. Furthermore, positive effects on bone formation and on the establishment of a more effective mucosal seal around implants were observed. Despite the promising findings, heterogeneity among treatment protocols and the limited number of long-term clinical studies were identified. It can be concluded that laser surface treatment represents a promising strategy for improving the biological performance of zirconia implants, contributing to enhanced osseointegration and greater peri-implant tissue stability.

Keywords: Dental Implants. Zirconia. Laser Therapy. Osseointegration. Bioactivity. Biocompatibility.

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



INTRODUÇÃO

Os implantes de zircônia têm ganhado destaque na implantodontia contemporânea por apresentarem elevada biocompatibilidade, estabilidade química, resistência à corrosão e coloração semelhante aos tecidos dentários, o que favorece sua indicação em áreas estéticas. Apesar dessas vantagens, sua superfície naturalmente bioinerte pode limitar a interação inicial com células osteogênicas, tornando necessária a aplicação de tratamentos capazes de melhorar a rugosidade, a molhabilidade e a resposta biológica peri-implantar (SUN, 2021).

A modificação da superfície dos implantes é considerada um fator essencial para favorecer a osseointegração, pois influencia diretamente a adesão celular, a proliferação osteoblástica, a diferenciação celular e a deposição de matriz mineralizada. No caso da zircônia, diferentes estratégias físicas, químicas e de revestimento vêm sendo estudadas, com o objetivo de superar limitações relacionadas à baixa reatividade superficial e ampliar sua previsibilidade clínica (JIN, 2024).

Entre as técnicas de modificação superficial, o tratamento a laser tem despertado interesse por permitir a criação de micro e nanotopografias controladas sem contato direto com o material, reduzindo o risco de contaminação por partículas residuais. Essa abordagem pode modificar a energia superficial, a rugosidade e a molhabilidade da zircônia, favorecendo condições mais adequadas para adesão celular e formação óssea inicial (CUNHA *et al.*, 2022).

A resposta celular aos implantes de zircônia tratados a laser depende de fatores como tipo de laser, potência, frequência, fluência, padrão de texturização, profundidade dos sulcos e espaçamento entre microestruturas. Estudos *in vitro* demonstram que diferentes padrões de microtexturização podem interferir na adesão de osteoblastos e fibroblastos gengivais, embora nem todos os protocolos apresentem superioridade biológica significativa em relação às superfícies convencionais (CRUZ *et al.*, 2022).

Dessa forma, o tratamento de superfície a laser em implantes de zircônia representa uma alternativa promissora para melhorar a bioatividade tecidual, desde que seus parâmetros sejam cuidadosamente definidos. A literatura recente indica que a texturização a laser pode contribuir para maior rugosidade, melhor molhabilidade e

potencial estímulo à osseointegração, mas ainda são necessários estudos clínicos de longo prazo para confirmar sua efetividade em condições reais de uso (HAN *et al.*, 2021).

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, desenvolvida com o objetivo de analisar as evidências científicas relacionadas ao tratamento de superfície a laser em implantes de zircônia e seus efeitos sobre a resposta celular e a bioatividade tecidual.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados eletrônicas amplamente utilizadas na área das Ciências da Saúde, incluindo PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar. Foram utilizados descritores em português e inglês relacionados ao tema, combinados por operadores booleanos, tais como: “zirconia implants”, “laser surface treatment”, “laser texturing”, “surface modification”, “osseointegration”, “cell response”, “bioactivity”, “dental implants” e “zirconia surface”.

Foram considerados artigos científicos publicados entre os anos de 2021 e 2025, disponíveis na íntegra e que abordassem modificações superficiais a laser em implantes ou discos de zircônia utilizados em Odontologia. Também foram incluídos estudos experimentais *in vitro*, estudos *in vivo*, revisões de literatura, revisões sistemáticas e pesquisas relacionadas à interação entre superfície tratada, células osteoblásticas, fibroblastos gengivais, biofilme bacteriano e formação óssea peri-implantar.

Como critérios de exclusão, foram descartados artigos duplicados, resumos de eventos científicos, cartas ao editor, estudos sem acesso ao texto completo, publicações fora do período estabelecido e trabalhos que não apresentassem relação direta com o tratamento de superfície a laser em zircônia odontológica.

Após a seleção dos estudos, foi realizada leitura criteriosa dos títulos, resumos e textos completos, seguida da extração das informações consideradas relevantes para a construção da revisão. Os dados obtidos foram organizados e analisados de forma descritiva, contemplando aspectos relacionados aos tipos de laser empregados, alterações topográficas produzidas na superfície da zircônia, efeitos sobre adesão celular, proliferação e diferenciação osteoblástica, resposta dos tecidos moles, bioatividade superficial e potencial influência sobre a osseointegração.

A análise e interpretação dos resultados permitiram reunir evidências científicas atuais sobre os benefícios, limitações e perspectivas futuras da utilização do tratamento a laser como estratégia de modificação superficial em implantes de zircônia, contribuindo para uma compreensão mais ampla de sua aplicação na implantodontia contemporânea.

REVISÃO DE LITERATURA

A zircônia estabilizada por ítria apresenta propriedades mecânicas favoráveis para uso odontológico, incluindo elevada resistência à fratura, estabilidade química e aparência estética superior ao titânio em regiões anteriores. Além disso, esse biomaterial demonstra excelente resistência ao desgaste, baixa afinidade por processos corrosivos e reduzida liberação de íons para os tecidos adjacentes, características que contribuem para sua biocompatibilidade em longo prazo. Entretanto, sua superfície apresenta menor bioatividade espontânea, o que justifica a investigação de tratamentos capazes de melhorar a interação entre biomaterial, células ósseas e tecidos peri-implantares. Dessa forma, diferentes estratégias de modificação superficial vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de potencializar a adesão celular, acelerar a osseointegração e ampliar a previsibilidade clínica dos implantes cerâmicos (ALDHUWAYHI *et al.*, 2025).

A osseointegração dos implantes de zircônia depende da combinação entre características macrogeométricas do implante e propriedades microscópicas da superfície. Rugosidade, energia superficial e composição química interferem na formação do coágulo inicial, adsorção proteica, adesão de células osteoprogenitoras e deposição de matriz extracelular mineralizada. Esses eventos biológicos ocorrem nas primeiras horas e dias após a instalação do implante e são determinantes para o estabelecimento de uma interface estável entre o tecido ósseo e o biomaterial. Superfícies adequadamente modificadas podem favorecer a migração celular, estimular a atividade osteoblástica e promover maior contato osso-implante, resultando em melhor estabilidade secundária e menor tempo para a reabilitação funcional (GOLROKHIAN, 2025).

O tratamento a laser permite modificar a superfície da zircônia por meio da

criação de sulcos, poros ou padrões microestruturados, sem necessidade de jateamento com partículas abrasivas. Essa característica é relevante porque evita resíduos de alumina ou outros contaminantes que poderiam interferir na resposta celular e na estabilidade da interface osso-implante. Além disso, a tecnologia a laser possibilita elevado controle sobre a profundidade, largura e distribuição das microestruturas criadas, permitindo a obtenção de superfícies altamente padronizadas. Como consequência, ocorre aumento da área superficial disponível para interação biológica, favorecendo a adesão de proteínas plasmáticas e o recrutamento de células responsáveis pelo processo de reparo ósseo (ACKERL *et al.*, 2021).

A molhabilidade é outro fator importante para a bioatividade da superfície implantável, pois influencia a adsorção de proteínas plasmáticas e a formação de uma interface favorável ao recrutamento celular. Tratamentos a laser podem aumentar a energia superficial da zircônia, tornando-a mais hidrofílica e, consequentemente, mais favorável à interação biológica inicial. Superfícies hidrofílicas facilitam a dispersão do sangue sobre o implante logo após sua instalação, favorecendo a formação de um coágulo mais homogêneo e biologicamente ativo. Esse ambiente inicial contribui para a migração de células osteogênicas e para a liberação de fatores de crescimento envolvidos na regeneração óssea, fatores considerados essenciais para uma osseointegração rápida e eficiente (SOUZA *et al.*, 2023).

A bioatividade tecidual não se limita à formação óssea, pois também envolve a resposta dos tecidos moles peri-implantares. A adesão de fibroblastos gengivais à zircônia é relevante para a formação de selamento mucoso, que atua como barreira contra infiltração bacteriana e inflamação peri-implantar. Esse selamento biológico é fundamental para a manutenção da saúde peri-implantar ao longo do tempo, reduzindo a penetração de microrganismos e protegendo as estruturas ósseas subjacentes. Estudos recentes demonstram que determinadas modificações superficiais podem favorecer a adesão e proliferação de fibroblastos, contribuindo para uma integração mais eficiente dos tecidos moles ao redor dos implantes de zircônia (ALEXANDER *et al.*, 2025).

A colonização bacteriana sobre superfícies implantáveis representa um desafio clínico, especialmente pela possibilidade de mucosite e peri-implantite. Superfícies de zircônia texturizadas por laser ou fresagem podem modificar a adesão bacteriana inicial,

sugerindo que a topografia superficial também deve ser planejada considerando o equilíbrio entre resposta osteogênica e controle do biofilme. A presença excessiva de rugosidades pode favorecer o acúmulo microbiano, enquanto superfícies adequadamente projetadas podem reduzir a retenção bacteriana sem comprometer a adesão celular desejada. Dessa forma, o desenvolvimento de superfícies bioativas deve considerar simultaneamente aspectos relacionados à regeneração tecidual e à prevenção de doenças peri-implantares (SILVA *et al.*, 2024).

O uso de revestimentos bioativos associados à zircônia tem sido investigado para ampliar sua capacidade de estimular mineralização óssea. A incorporação de hidroxiapatita, peptídeos, proteínas de matriz extracelular ou compostos bioativos pode potencializar a osteocondução, especialmente quando combinada a uma superfície previamente modificada. Esses revestimentos atuam como mediadores biológicos capazes de favorecer a adesão celular e estimular vias moleculares relacionadas à diferenciação osteoblástica. Como resultado, observa-se potencial aumento da velocidade de formação óssea ao redor dos implantes, contribuindo para maior estabilidade e longevidade das reabilitações implantossuportadas (AUNG *et al.*, 2023).

A hidroxiapatita aplicada sobre zircônia pode aumentar a semelhança química da superfície com o tecido ósseo mineralizado, favorecendo adesão celular e formação de apatita. Entretanto, a estabilidade do revestimento, a adesão ao substrato e a resistência mecânica continuam sendo pontos críticos para aplicação clínica segura. A manutenção dessas propriedades ao longo do tempo é essencial para evitar desprendimentos do revestimento e possíveis falhas biomecânicas. Pesquisas recentes demonstram que a associação entre tratamentos de superfície e revestimentos bioativos pode gerar respostas celulares mais intensas, ampliando o potencial osteogênico da zircônia em comparação às superfícies não modificadas (XING *et al.*, 2024).

Comparações entre implantes de zircônia e titânio indicam que ambos podem apresentar osseointegração satisfatória, mas diferem quanto à composição, cor, resistência à corrosão e interação com tecidos moles. A zircônia é especialmente valorizada em pacientes com alta demanda estética ou preocupação com materiais metálicos, embora ainda apresente menor volume de evidências clínicas de longo prazo. Além dos aspectos estéticos, estudos sugerem que a zircônia pode apresentar menor

acúmulo de biofilme bacteriano em determinadas condições, favorecendo a manutenção da saúde peri-implantar. Apesar disso, novas investigações clínicas com acompanhamento prolongado ainda são necessárias para confirmar o desempenho desse material em diferentes cenários terapêuticos e populações de pacientes (ALQAHTANI *et al.*, 2025).

Este artigo tem como objetivo, analisar, por meio de uma revisão da literatura, o impacto do tratamento de superfície a laser em implantes de zircônia sobre a resposta celular e a bioatividade tecidual, destacando seus efeitos na rugosidade superficial, molhabilidade, adesão celular, osseointegração e integração dos tecidos peri-implantares, bem como seu potencial para otimizar o desempenho biológico e clínico desses biomateriais na implantodontia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos analisados demonstram consenso quanto ao potencial da zircônia como biomaterial para implantodontia, especialmente devido à sua elevada biocompatibilidade, estabilidade química e vantagens estéticas. Nesse contexto, SUN (2021) destaca que, embora a zircônia apresente propriedades favoráveis para utilização clínica, sua superfície naturalmente bioinerte limita a interação inicial com células osteogênicas, tornando necessárias estratégias de modificação superficial. Essa observação é corroborada por ALDHUWAYHI *et al.* (2025), que ressaltam que a baixa bioatividade espontânea representa uma das principais limitações dos implantes cerâmicos quando comparados aos materiais com maior capacidade de interação biológica.

Ao discutir a importância das modificações superficiais, JIN (2024) afirma que a osseointegração está diretamente relacionada às características topográficas e químicas da superfície implantável. De forma semelhante, GOLROKHIAN (2025) enfatiza que rugosidade, energia superficial e composição química influenciam eventos biológicos iniciais fundamentais, como adsorção proteica, formação do coágulo sanguíneo e recrutamento celular. Embora ambos os autores reconheçam a relevância das modificações superficiais, GOLROKHIAN (2025) amplia essa discussão ao incluir a participação do sistema imunológico e da resposta inflamatória na consolidação da

interface osso-implante.

Em relação ao tratamento a laser, CUNHA *et al.* (2022) destacam que a técnica permite criar micro e nanotopografias controladas sem contato direto com o material, reduzindo riscos de contaminação superficial. Essa perspectiva é reforçada por ACKERL *et al.* (2021), que demonstram que o uso de lasers ultracurtos possibilita a produção de padrões altamente organizados e reproduzíveis na superfície da zircônia. Enquanto CUNHA *et al.* (2022) enfatizam os benefícios gerais da tecnologia, ACKERL *et al.* (2021) aprofundam a discussão ao demonstrar que a geometria das estruturas produzidas pode ser racionalmente planejada para otimizar a interação celular.

Os achados de CRUZ *et al.* (2022) complementam essas observações ao investigarem especificamente a influência de sulcos produzidos por laser Nd sobre o comportamento celular. Os autores verificaram alterações na adesão e orientação celular, demonstrando que diferentes padrões de texturização podem induzir respostas biológicas distintas. Esse resultado concorda com HAN *et al.* (2021), que observaram que a eficácia dos tratamentos a laser depende diretamente dos parâmetros utilizados, incluindo potência, frequência e fluência. Entretanto, HAN *et al.* (2021) alertam que nem todas as modificações promovem benefícios biológicos significativos, evidenciando a necessidade de padronização dos protocolos.

Outro aspecto amplamente discutido refere-se à molhabilidade superficial. SOUZA *et al.* (2023) relatam que o aumento da energia superficial promovido pela texturização a laser favorece a hidrofília da zircônia, facilitando a dispersão sanguínea e a formação de um coágulo biologicamente ativo. Essa observação complementa os resultados descritos por JIN (2024), que associa superfícies hidrofílicas à maior adesão celular e aceleração das etapas iniciais da osseointegração. Dessa forma, ambos os autores convergem ao reconhecer a molhabilidade como um dos principais mecanismos responsáveis pelos efeitos biológicos positivos observados após o tratamento a laser.

Quando analisada a resposta dos tecidos moles, observa-se uma ampliação do conceito de bioatividade tecidual. ALEXANDER *et al.* (2025) argumentam que o sucesso dos implantes não depende exclusivamente da formação óssea, mas também da integração adequada dos tecidos peri-implantares. Os autores demonstram que a adesão de fibroblastos gengivais favorece a formação de um selamento biológico eficiente. Essa perspectiva complementa as observações de GOLROKHIAN (2025), que

destaca a importância da interação entre biomaterial e sistema imunológico para a manutenção da estabilidade tecidual em longo prazo.

A influência da topografia superficial sobre a colonização bacteriana também foi abordada pelos estudos analisados. SILVA *et al.* (2024) verificaram que diferentes padrões de texturização produzidos por laser e fresagem podem alterar significativamente a formação de biofilme por *Streptococcus oralis*. Os autores observam que superfícies excessivamente rugosas podem favorecer a retenção bacteriana, enquanto configurações mais equilibradas possibilitam simultaneamente adesão celular adequada e menor acúmulo microbiano. Esses resultados ampliam a discussão apresentada por ALEXANDER *et al.* (2025), ao demonstrar que a saúde peri-implantar depende não apenas da integração tecidual, mas também do controle microbiológico da superfície implantável.

A utilização de revestimentos bioativos surge como estratégia complementar às modificações topográficas. AUNG *et al.* (2023) demonstraram que a funcionalização da zircônia com fibronectina promove aumento significativo da adesão e proliferação celular. De forma semelhante, XING *et al.* (2024) verificaram que a incorporação de hidroxiapatita torna a superfície mais semelhante ao tecido ósseo mineralizado, favorecendo a formação de apatita e estimulando processos osteogênicos. Embora ambos os estudos apontem benefícios biológicos relevantes, XING *et al.* (2024) destacam desafios relacionados à estabilidade mecânica dos revestimentos, aspecto menos enfatizado por AUNG *et al.* (2023).

Ao comparar os resultados dos tratamentos exclusivamente topográficos com aqueles associados a revestimentos bioativos, observa-se que as abordagens combinadas tendem a produzir respostas celulares mais intensas. Enquanto ACKERL *et al.* (2021), CUNHA *et al.* (2022) e CRUZ *et al.* (2022) demonstram melhorias relacionadas principalmente à adesão celular e à organização tecidual decorrentes da modificação física da superfície, AUNG *et al.* (2023) e XING *et al.* (2024) evidenciam benefícios adicionais decorrentes da sinalização biológica promovida pelos revestimentos funcionais.

A comparação entre implantes de zircônia e titânio permanece um dos temas mais discutidos na literatura recente. ALQAHTANI *et al.* (2025) relatam que ambos os materiais apresentam desempenho clínico satisfatório quanto à osseointegração.

Entretanto, os autores destacam vantagens estéticas da zircônia, especialmente em regiões anteriores. Essa observação está em concordância com ALDHUWAYHI *et al.* (2025), que ressaltam a coloração semelhante aos tecidos dentários e a resistência à corrosão como fatores favoráveis ao uso clínico da zircônia.

Por outro lado, ALQAHTANI *et al.* (2025) observam que a quantidade de evidências clínicas disponíveis para implantes de zircônia ainda é inferior à existente para implantes de titânio. Esse aspecto também é mencionado por HAN *et al.* (2021), que apontam a predominância de estudos laboratoriais e experimentais na literatura atual. Assim, embora os resultados *in vitro* e *in vivo* sejam promissores, ambos os trabalhos destacam a necessidade de ensaios clínicos controlados com acompanhamento prolongado para validação definitiva dos benefícios observados.

De maneira geral, os autores analisados apresentam elevado grau de concordância quanto à importância das modificações superficiais na melhoria da bioatividade dos implantes de zircônia. As evidências indicam que o tratamento a laser promove alterações topográficas capazes de aumentar a rugosidade, a energia superficial e a molhabilidade do material, favorecendo a adesão celular, a diferenciação osteoblástica e a integração dos tecidos moles. Entretanto, persistem divergências relacionadas aos parâmetros ideais de aplicação, à estabilidade de revestimentos bioativos e à escassez de estudos clínicos de longo prazo. Dessa forma, a literatura atual sugere que a associação entre tecnologias de texturização a laser e estratégias de funcionalização biológica representa uma das perspectivas mais promissoras para o desenvolvimento de implantes de zircônia com maior potencial osteogênico e melhor desempenho clínico futuro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da literatura demonstrou que o tratamento de superfície a laser representa uma estratégia promissora para potencializar o desempenho biológico dos implantes de zircônia. As modificações promovidas por essa tecnologia permitem a obtenção de superfícies micro e nanotexturizadas capazes de aumentar a rugosidade, a energia superficial e a molhabilidade do material, favorecendo processos biológicos essenciais para a osseointegração e para a estabilidade dos tecidos peri-implantares.

Os estudos avaliados evidenciaram que a texturização a laser pode estimular a adesão, proliferação e diferenciação de células osteoblásticas, além de contribuir para uma resposta favorável dos fibroblastos gengivais, fortalecendo o selamento biológico dos tecidos moles ao redor dos implantes. Adicionalmente, a possibilidade de criar padrões superficiais controlados sem contato direto com o material reduz o risco de contaminação e amplia a previsibilidade dos resultados obtidos.

Apesar dos benefícios observados, os resultados ainda apresentam variações relacionadas aos diferentes tipos de laser, parâmetros de aplicação e metodologias empregadas nos estudos experimentais. Dessa forma, ainda não existe consenso sobre o protocolo ideal capaz de proporcionar a melhor resposta biológica para todas as situações clínicas.

Conclui-se que o tratamento de superfície a laser possui potencial para aumentar a bioatividade tecidual e favorecer a integração dos implantes de zircônia aos tecidos ósseos e moles. Entretanto, são necessários estudos clínicos controlados e acompanhamentos de longo prazo para confirmar a efetividade dessas modificações superficiais e estabelecer protocolos padronizados que possam ser aplicados de forma segura e previsível na prática clínica da implantodontia.

REFERÊNCIAS

ACKERL, N.; BORK, A. H.; HAUERT, R. *et al.* Rationally designed ultra-short pulsed laser patterning of zirconia-based ceramics tailored for the bone-implant interface. *Applied Surface Science*, Amsterdam, v. 545, p. 14, 2021.

ALDHUWAYHI, S.; ALMUTAIRY, F.; ALQAHTANI, M. *et al.* Zirconia in dental implantology: a review of the literature. *Journal of Clinical Medicine*, Basel, v. 14, 2025.

ALEXANDER, R.; KATSAROS, C.; SCULEAN, A. *et al.* Soft tissue integration around dental implants: a pressing priority. *Periodontology 2000*, Copenhagen, 2025.

ALQAHTANI, S. M.; ALHUSAINI, A.; ALRASHED, M. *et al.* Clinical effectiveness of zirconia versus titanium dental implants: an overview of systematic reviews. *BDJ Open*, London, v. 11, 2025.

AUNG, L. M.; OKAWA, S.; MATIN, K. *et al.* Functionalization of zirconia ceramic with fibronectin proteins enhanced cellular responses. *Materials*, Basel, v. 16, n. 9, 2023.

CRUZ, M. B.; MARQUES, J. F.; MADEIRA, S. *et al.* Modification of zirconia implant surfaces

by Nd laser grooves: does it change cell behavior? *Biomimetics*, Basel, v. 7, n. 2, p. 49, 2022.

CUNHA, W.; CARVALHO, O.; HENRIQUES, B. *et al.* Surface modification of zirconia dental implants by laser texturing. *Lasers in Medical Science*, London, v. 37, n. 1, p. 77-93, 2022.

GOLROKHIAN, M. Osseointegration and host immune response to zirconia implants: current evidence and perspectives. *Progress in Biomaterials*, v. 14, n. 4, 2025.

HAN, J.; ZHANG, F.; VAN MEERBEEK, B. *et al.* Laser surface texturing of zirconia-based ceramics for dental applications: a review. *Materials Science and Engineering C*, Amsterdam, v. 123, p. 112034, 2021.

JIN, H. W.; NOUMBISSI, S.; WIEDEMANN, T. G. Comparison of zirconia implant surface modifications for optimal osseointegration. *Journal of Functional Biomaterials*, Basel, v. 15, n. 4, p. 91, 2024.

SILVA, N.; MARQUES, J.; CARAMÊS, J. *et al.* The impact of using laser and milling techniques to create zirconia patterns on *Streptococcus oralis* biofilm formation. *Ceramics*, Basel, v. 7, n. 4, p. 1855-1866, 2024.

SOUZA, J. C. M.; RAFFAELE-ESPOSITO, A.; CARVALHO, O. *et al.* Surface modification of zirconia or lithium disilicate-reinforced glass ceramic by laser texturing to increase the adhesion of prosthetic surfaces to resin cements: an integrative review. *Clinical Oral Investigations*, Berlin, v. 27, p. 3331-3345, 2023.

SUN, L.; HONG, G. Surface modifications for zirconia dental implants: a review. *Frontiers in Dental Medicine*, Lausanne, v. 2, p. 33, 2021.

XING, Z.; PANG, Y.; LI, Q. B. E. *et al.* Modification of zirconia with hydroxyapatite for bioactive enhancement as dental implants. *Research Square*, 2024.