



FACULDADE
ILAPEO

Alexandre Renato Reblin Zonta

**Análise da caracterização da superfície e da reprodutibilidade de um
implante dentário de zircônia moldado por injeção**

CURITIBA
2026

Alexandre Renato Reblin Zonta

Análise da caracterização da superfície e da reprodutibilidade de um implante dentário de zircônia moldado por injeção

Dissertação apresentada a Faculdade ILAPEO como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Odontologia com área de concentração em Implantodontia.

Orientadora: Prof. Dr. Roberto Shimizu
Coorientadora: Prof. Dr. Larissa Trojan

CURITIBA
2026

Alexandre Renato Reblin Zonta

Análise da caracterização da superfície e da reprodutibilidade de um implante dentário de zircônia moldado por injeção

Presidente da Banca Orientador: Prof. Dr. Roberto Hideo Shimizu

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Dr(a). Tatiana Miranda Deliberador

Prof(a). Dr(a). Jayme Bordini Junior

Aprovada em: 19/05/2026

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus e à minha família, em especial à minha esposa, Geórgia, e à nossa filha, Serena Gumz Zonta, por estarem me proporcionando todo o amor e suporte necessários.

Dedico este trabalho a toda a comunidade odontológica.

Agradecimentos

Agradeço ao meu pai, Armando Renato Zonta, e à minha irmã, Maria Eduarda Reblin Zonta, por terem incentivado essa etapa da minha vida profissional e por terem suprido minha ausência no consultório.

Agradeço ao ILAPEO por tornar possíveis meus anseios profissionais.

Sumário

1. Artigo científico	7
----------------------------	---

1. Artigo científico 1

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO.

ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE E DA REPRODUTIBILIDADE DE UM IMPLANTE DENTÁRIO DE ZIRCÔNIA MOLDADO POR INJEÇÃO.

Alexandre Renato Reblin Zonta¹
Roberto Hideo Shimizu²

¹ Especialista e Mestrando em Implantodontia pela Faculdade ILAPEO

² Mestre em Odontologia (Ortodontia) pela Univerisadade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Doutor em Odontologia (ortodontia) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita. Coordenador do curso de ortodontia da faculdade Ilapeo.

RESUMO

..

Objetivo: Avaliar as propriedades da superfície de um implante dentário de zircônia moldado por injeção e a reprodutibilidade da rugosidade superficial em diferentes comprimentos e regiões do implante.

Materiais e Métodos: Foram analisados doze implantes de zircônia (4,3 mm de diâmetro; comprimentos: 8, 10, 11,5 e 13 mm) fabricados por moldagem por injeção e tratados por jateamento abrasivo, seguidos de ataque ácido. A morfologia da superfície foi avaliada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A rugosidade superficial tridimensional (Sa) foi medida por meio de microscopia confocal. As medições foram realizadas em duas regiões representativas: a câmara e o ápice. Estatísticas descritivas foram calculadas e as comparações entre regiões e comprimentos de implante foram realizadas por meio do teste t de Student e ANOVA.

Resultados: A análise por MEV revelou uma microtopografia homogênea e isotrópica, caracterizada por microdepressões arredondadas, uniformemente distribuídas, e pela ausência de sulcos direcionais. A rugosidade média da superfície foi de $0,443 \pm 0,036 \mu\text{m}$. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na rugosidade entre os comprimentos dos implantes em nenhuma das regiões ($p > 0,05$). Uma diferença significativa entre as regiões da câmara pulpar e apical foi observada apenas no implante de 10 mm ($p = 0,044$), embora com poder estatístico limitado. No geral, a variabilidade da rugosidade da superfície entre as amostras foi baixa.

Conclusão: Implantes de zircônia moldados por injeção, tratados por jateamento e por ataque ácido, demonstraram características de superfície consistentes e reproduzíveis em diferentes comprimentos e regiões. A microtopografia homogênea e os valores de rugosidade estáveis sugerem um controle industrial adequado do processo de fabricação e corroboram o potencial de desempenho biológico previsível.

Palavras-chave: Implantes dentários; Zircônia; Propriedades da superfície; Rugosidade da superfície.

ABSTRACT

Objective: To characterize the surface properties of an injection-molded zirconia implant and evaluate the reproducibility of surface roughness at different implant lengths and regions.

Materials and Methods: Twelve zirconia implants (4.3 mm in diameter; lengths: 8, 10, 11.5, and 13 mm) manufactured by injection molding and treated by abrasive blasting with acid etching were applied. Surface morphology was evaluated using scanning electron microscopy (SEM). Three-dimensional surface roughness (Sa) was measured using confocal microscopy. The questions were asked in two representative regions: the cutting edge and the apex. Descriptive statistics were calculated, and comparisons between regions and implant lengths were performed using Student's t-test and ANOVA.

Results: SEM analysis showed a fine-grained structure, with rounded microdepressions distributed homogeneously. The average surface roughness was $0.443 \pm 0.036 \mu\text{m}$. No statistically significant differences in roughness were observed among implant lengths in any region ($p > 0.05$). A significant difference between the cutting edge and apex regions was observed only in the 10 mm implant ($p = 0.044$). Overall, the variability in surface roughness among the samples was low.

Conclusion: Injection-molded zirconia implants treated by sandblasting and acid etching exhibit impressive, consistent, and reproducible surface characteristics across different lengths and regions. The contemporary microtopography and roughness values suggest adequate industrial control of the manufacturing process and corroborate the potential for predictable biological performance.

Keywords: Dental implants; Zirconium; Surface properties; Surface roughness.

INTRODUÇÃO

Por mais de 40 anos, os implantes dentários têm sido usados para substituir dentes perdidos, ausentes ou comprometidos¹. Atualmente, os implantes dentários representam uma opção de tratamento confiável na reabilitação oral de pacientes parcial ou totalmente desdentados². A maioria dos pesquisadores concorda que o titânio é o metal menos alérgico entre os materiais de escolha para fins biológicos. Entretanto, a literatura inclui relatos de casos isolados de hipersensibilidade relacionada ao titânio e/ou aos componentes químicos das ligas de titânio³.

Diante da demanda crescente por reabilitações livres de metal, implantes à base de zircônia têm sido desenvolvidos com características semelhantes de força funcional e de osseointegração⁴. Além disso, o implante cerâmico é uma boa opção em termos de estética, pois a tonalidade da zircônia é semelhante à cor dos dentes⁴.

Impulsionado por sua estabilidade mecânica, o policristal de zircônia tetragonal estabilizado com ítria foi estabelecido como o material de escolha para tais aplicações. Esta modificação metaestável da zircônia está ligada à sua capacidade de reduzir a propagação de trincas, dissipando a energia envolvida na conversão de cristalitos individuais do composto no alótropo termicamente estável⁵.

É claramente entendido que as propriedades de superfície de um biomaterial desempenham um papel fundamental no processo de osseointegração. A composição do material do implante e a topografia da superfície influenciam os processos de cicatrização da ferida após a implantação e, conseqüentemente, afetam a osseointegração. Uma topografia de superfície moderadamente rugosa é conhecida por favorecer a reação tecidual interfacial⁶.

Considerando a crescente demanda por implantes cerâmicos e da limitação de estudos sobre implantes de zircônia moldados por injeção, o objetivo deste trabalho é analisar as características da superfície de um implante de zircônia injetado e avaliar sua reprodutibilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise da superfície do implante

Foi analisado um total de 12 implantes cerâmicos Zi[®] (Neodent, Curitiba, Brasil) com diâmetro de 4,3 mm e 4 alturas diferentes: 8 , 10, 11,5 e 13 mm. De acordo com o fabricante, o implante apresenta superfície rugosa, obtida por jateamento abrasivo seguido de ataque ácido (superfície jateada e atacada com ácido). Além disso, o implante é fabricado por moldagem a injeção.

A caracterização da superfície dos implantes foi realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) (SUPRATM 55, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Alemanha). Para evitar qualquer interrupção residual devido a impurezas, as amostras foram previamente limpas

em solução aquecida de Deconex 15PF-x a 4% em banho ultrassônico, depois enxaguadas com água ultrapura e secas com ar quente.

A rugosidade da superfície 3D, conforme a ISO 25178, foi medida com um microscópio confocal de luz verde (NanoFocus, μ surf explorer; QS-55830; Oberkochen, Alemanha) usando uma lente objetiva com aumento de 20x (distância de trabalho de 3,1 mm, NA 0,45). A rugosidade foi calculada a partir da imagem recortada. Um filtro gaussiano de média móvel, com comprimento de onda de corte de 0,031 mm, foi utilizado para calcular a macro- e a microrugosidade. O parâmetro Sa foi selecionado por ser o de amplitude mais utilizado na caracterização tridimensional da superfície de implantes.

Cada amostra foi medida nas 2 posições indicadas na Figura 1.

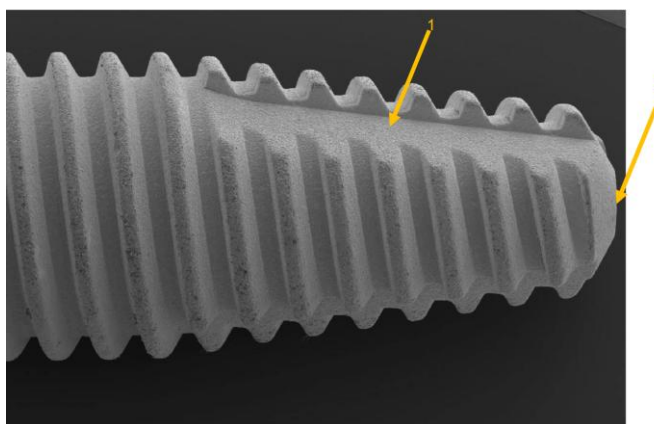


Figura 1 - Imagem de um implante NCIS mostrando as áreas 1 (câmara) e 2 (ápice) mensuradas.

A análise dos dados foi realizada com o software μ Soft Analysis XT (versão 5.1.1.5944).

Análise estatística

Inicialmente, realizou-se uma análise descritiva dos dados por meio da média e do desvio padrão. Para avaliar as diferenças de rugosidade entre as regiões de análise, utilizou-se o teste t de Student e, para comparar a rugosidade entre os tamanhos dos implantes, a análise de variância (ANOVA). Devido à natureza exploratória deste estudo e ao número limitado de amostras, as análises estatísticas foram interpretadas de forma descritiva, com ênfase nas tendências dos efeitos em vez de conclusões inferenciais.

Para melhor visualização das análises, foram elaborados gráficos de barras com barras de erro. O nível de significância adotado foi de 5% e todas as análises foram realizadas no ambiente R 4.2.1 (R Core Team, 2021).

RESULTADOS

Microestrutura do implante

As micrografias da região da câmara, avaliadas nos quatro tamanhos de implante, demonstram padrão morfológico semelhante. Observa-se uma estrutura granular fina, com microdepressões arredondadas distribuídas de forma homogênea e ausência de sulcos direcionais (figura 2).

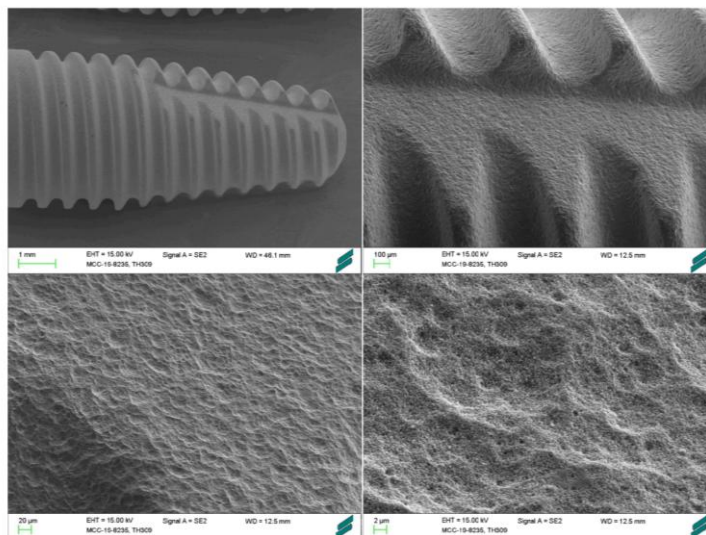


Figura 2 - microscopia eletrônica de varredura na posição 1, câmara do implante 4.3x10mm utilizando barras de escala de 1mm, 100 μm, 20 μm, 2 μm.

É possível identificar pequenas variações locais na densidade de microcavidades entre os tamanhos, porém sem diferenças morfológicas relevantes.

As micrografias obtidas na região apical demonstraram padrão morfológico semelhante ao observado na região da câmara. De modo geral, não foram identificadas diferenças morfológicas relevantes entre as regiões analisadas, sugerindo uniformidade da superfície ao longo da extensão do implante (Figura 3).

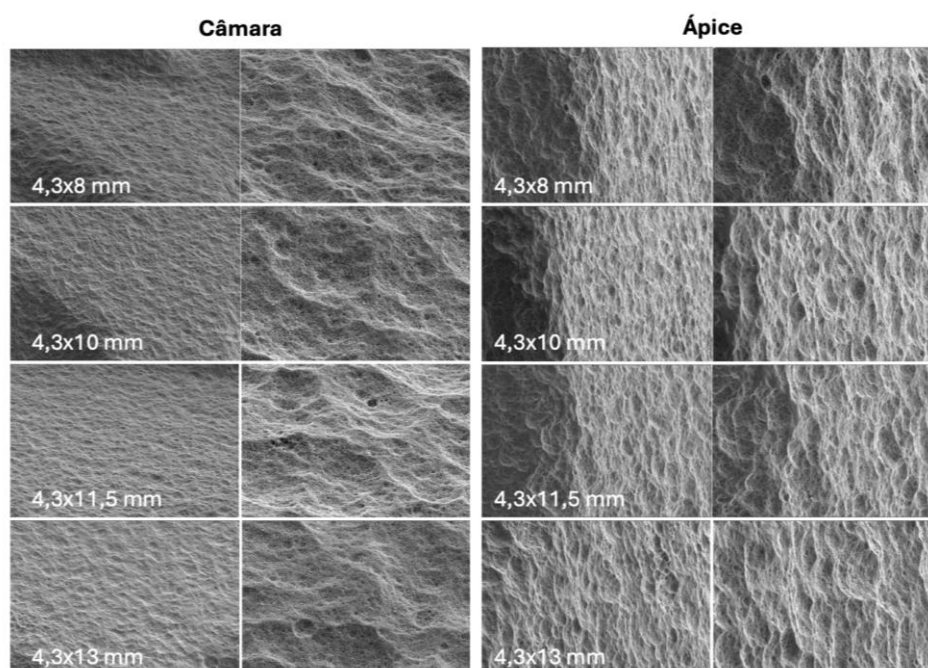


Figura 3 - Micrografias de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície dos implantes de zircônia, evidenciando as regiões da câmara (coluna esquerda) e do ápice (coluna direita) em diferentes comprimentos avaliados.

Rugosidade da superfície

A rugosidade média da superfície geral foi de $0,443 \pm 0,036 \mu\text{m}$. Ao analisar a média da rugosidade da superfície no ápice e na câmara, notaram-se valores de $0,413 \pm 0,010 \mu\text{m}$ no ápice do implante $4,3 \times 10 \text{ mm}$ a $0,499 \pm 0,050 \mu\text{m}$ na câmara do implante $4,3 \times 11,5 \text{ mm}$. O implante que apresentou maior variabilidade nas médias de rugosidade entre as 3 amostras avaliadas foi o implante $4,3 \times 11,5 \text{ mm}$ na câmara, que variou em 10%, e o implante que apresentou menor variabilidade foi o implante $4,3 \times 13 \text{ mm}$ no ápice, que variou em 2,3%. Na Tabela 1, observam-se os resultados globais do estudo.

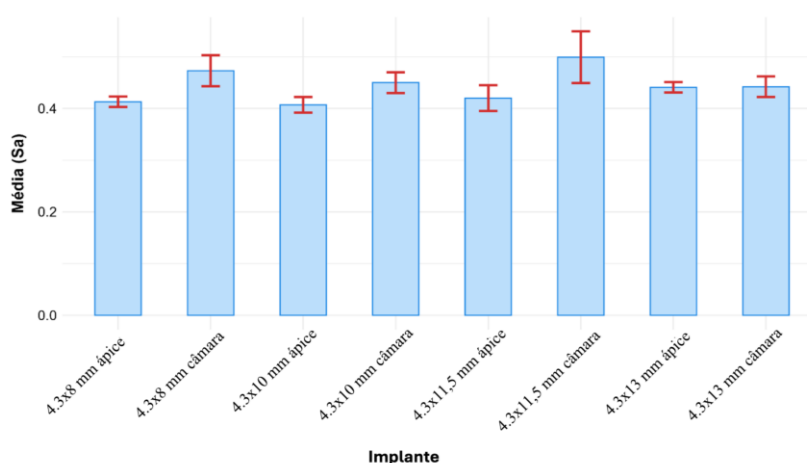


Figura 3 - Resultados da rugosidade média obtido em cada comprimento do implante e área avaliada.

Implante	Média±DP (μm)	Coefficiente de variação (%)	Região	Número de repetições
4,3x8 mm	0,473±0,030	6,3	Câmara	3
4,3x8 mm	0,413±0,010	2,4	Ápice	3
4,3x10 mm	0,450±0,020	4,4	Câmara	3
4,3x10 mm	0,407±0,015	3,7	Ápice	3

4,3x11,5 mm	0,499±0,050	10,0	Câmara	3
4,3x11,5 mm	0,420±0,025	6,0	Ápice	3
4,3x13 mm	0,442±0,020	4,5	Câmara	3
4,3x13 mm	0,441±0,010	2,3	Ápice	3

DP = desvio padrão. Coeficiente de variação = desvio padrão / média * 100

Tabela 1 – Média da rugosidade superficial (Sa) por tamanho do implante e por área de avaliação.

Na Figura 4 e Tabela 1, foram comparadas as rugosidades entre as regiões de avaliação, com o mesmo tamanho de implante. Houve diferença estatisticamente significativa entre as regiões da câmara e do ápice no implante de 10 mm ($p = 0,044$). Nos demais, não houve diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Vale destacar que o n amostral desta comparação foi reduzido, o que resultou em baixo poder estatístico do teste.

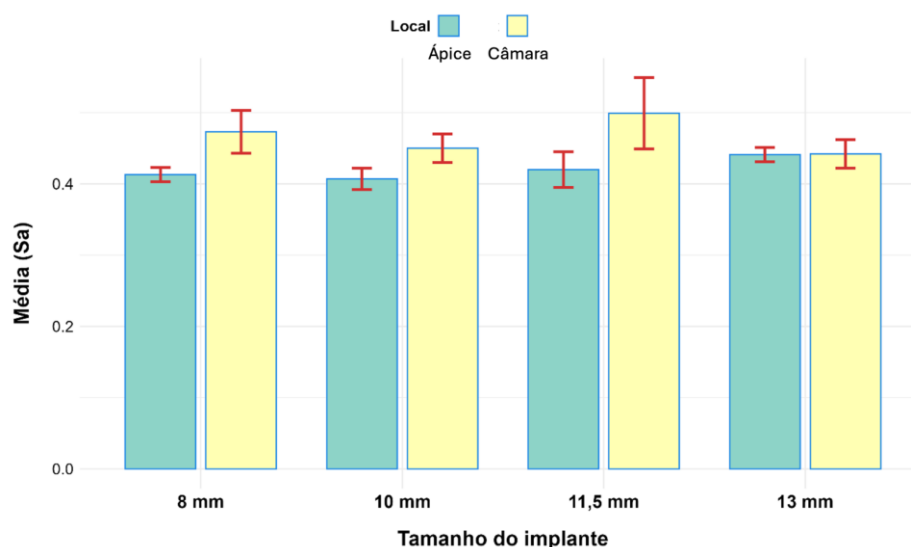


Figura 5 - Resultados da rugosidade média, por comprimento do implante, nas duas regiões de análises.

Tabela 2 – Comparação da média da rugosidade superficial (Sa) entre as duas regiões avaliadas no mesmo implante, para diferentes tamanhos de implante.

Implante	Média±DP (μm)	p-valor
4,3x8 mm câmara	0,473±0,030	0,062
4,3x8 mm ápice	0,413±0,010	
4,3x10 mm câmara	0,450±0,020	0,044*
4,3x10 mm ápice	0,407±0,015	
4,3x11,5 mm câmara	0,499±0,050	0,093
4,3x11,5 mm ápice	0,420±0,025	
4,3x13 mm câmara	0,442±0,020	0,943
4,3x13 mm ápice	0,441±0,010	

*Significância $p < 0,05$. Teste T de Student. DP = desvio padrão.

Na Figura 5 e Tabela 2 foram comparadas as rugosidades entre os diferentes comprimentos do implante nas mesmas regiões de avaliação. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tamanhos ($p > 0,05$) nas duas regiões.

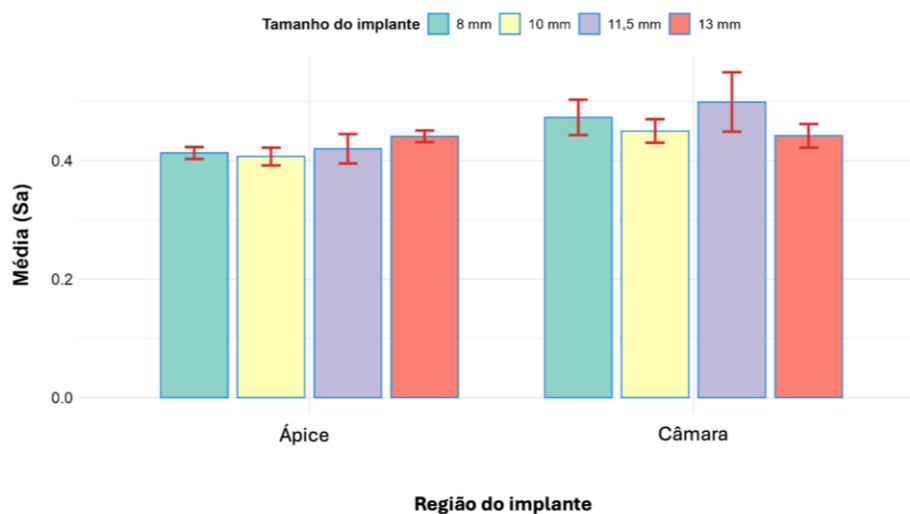


Figura 6 - Resultados da rugosidade média, por região, em todos os comprimentos de implante.

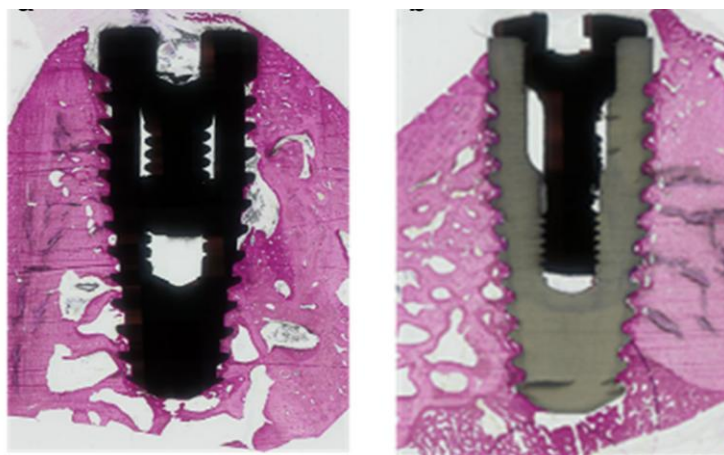


Figura 7 - Cortes histológicos bucolinguais do implante de titânio à esquerda e implante cerâmico à direita.

Tabela 3 - Comparação da média da rugosidade superficial (Sa) na mesma região entre os diferentes tamanhos de implantes.

Implante	Média±DP (µm)	p-valor
4,3x8 mm câmara	0,473±0,030	0,211
4,3x10 mm câmara	0,450±0,020	
4,3x11,5 mm câmara	0,499±0,050	
4,3x13 mm câmara	0,442±0,020	
4,3x8 mm ápice	0,413±0,010	0,132
4,3x10 mm ápice	0,407±0,015	
4,3x11,5 mm ápice	0,420±0,025	
4,3x13 mm ápice	0,441±0,010	

Teste ANOVA. DP = desvio padrão.

DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar as propriedades da superfície de um implante de zircônia injetado e avaliar a reprodutibilidade desse tratamento em implantes de diferentes comprimentos. Os principais resultados demonstraram uma microtopografia com padrões semelhantes entre os diferentes comprimentos de implante. A rugosidade superficial média encontrada foi de $0,443 \pm 0,036 \mu\text{m}$ e se manteve dentro de uma faixa estreita de variação. Não foram observadas diferenças significativas na rugosidade entre os comprimentos dos implantes, enquanto apenas uma variação regional limitada foi detectada entre as regiões da câmara e do ápice.

A microtopografia observada neste estudo, caracterizada por microdepressões uniformemente distribuídas e arredondadas, além da ausência de sulcos com orientação preferencial, mostra-se compatível com o processo de fabricação por injeção do implante avaliado⁷. Estudos prévios relatam que implantes cerâmicos fabricados por moldagem apresentam estrutura granular fina e microporosidade superficial, características também identificadas no presente estudo^{7,8}. A ausência de marcas direcionais observadas é consistente com o processo de injeção, no qual a geometria final é alcançada com pouca necessidade de etapas extensivas de usinagem. Em contraste, implantes predominantemente usinados frequentemente exibem sulcos lineares resultantes de procedimentos de torneamento ou fresamento, que podem permanecer parcialmente visíveis mesmo após modificações superficiais subsequentes⁹.

Sabe-se que o tratamento da superfície de implantes afeta o processo de osseointegração e as características mecânicas¹⁰. Revisões da literatura relatam que o jateamento, seguido de ataque ácido, é um método comumente utilizado para modificar a superfície de implantes de zircônia^{10,11}. Os implantes avaliados nesse estudo apresentaram rugosidade média de $0,443 \pm 0,036 \mu\text{m}$ pelo parâmetro 3D Sa. Este resultado é próximo ao encontrado na literatura

para implantes de zircônia tratados por diferentes métodos, incluindo o ataque ácido, que variam entre 0,54 e 0,63¹²⁻¹⁵. Entretanto, muitos estudos avaliados em uma revisão sistemática relataram valores superiores, variando de 0,7 a 1,98 μm^{11} .

Apesar de o implante avaliado neste estudo estar no limiar entre superfície lisa e moderadamente rugosa, de acordo com definições da literatura, a rugosidade da superfície não é a única característica que influencia a osseointegração, já que a composição da superfície também é importante¹⁶. De fato, o mesmo implante avaliado neste estudo já foi estudado em mini pigs e humanos, apresentando boa osseointegração e sem eventos adversos^{5,17}.

Diferenças regionais na osseointegração ao longo do corpo do implante foram observadas por Rousseau et al.¹⁸, com relatos de maior contato osso-implante na região coronária em comparação à região apical, em modelos animais. Isto reforça o raciocínio de que a avaliação tanto da câmara quanto do ápice é relevante para caracterizar a uniformidade da superfície e o potencial de desempenho biológico. No presente estudo, a ausência de diferenças significativas de rugosidade entre a câmara e o ápice sugere uma topografia homogênea ao longo da extensão do implante, indicando a estabilidade do processo de fabricação e do tratamento de superfície adotado.

Além disso, a injeção é um método altamente sensível a parâmetros, em que os primeiros trabalhos em moldagem por injeção de cerâmica mostraram que o ajuste inadequado das variáveis de moldagem pode levar a defeitos internos, como vazios e trincas, o que ressalta a necessidade de um controle preciso do processo para obter implantes sem defeitos¹⁹. Nesse contexto, a ausência de diferenças significativas na rugosidade superficial entre implantes de diferentes comprimentos no presente estudo sugere que os processos de injeção e de tratamento de superfície empregados apresentam alto grau de controle e estabilidade industrial, resultando em características de superfície reproduzíveis em diferentes geometrias de implante.

A topografia e a rugosidade da superfície estão criticamente ligadas aos resultados clínicos na terapia com implantes dentários, uma vez que superfícies rugosas proporcionam maior área de contato ósseo e melhor encaixe mecânico, além de permitir o recrutamento de células osteogênicas para se unirem e depositarem osso, produzindo a interface osso-implante, o que pode aumentar a estabilidade do implante e a formação óssea *in vivo*²⁰. Nesse contexto, os resultados aqui apresentados reforçam a relevância clínica de obter uma superfície homogênea e reproduzível ao longo de todo o comprimento do implante, visto que a consistência da microtopografia pode contribuir para um desempenho biológico previsível e aumentar a confiança na confiabilidade do processo de fabricação para aplicação clínica.

O número de implantes avaliados foi limitado, o que reduziu o poder estatístico das análises e limitou a capacidade de chegar a conclusões inferenciais definitivas. Além disso, outra limitação do estudo é a caracterização da superfície, que se baseou apenas em análises topográficas, sem avaliação complementar da composição química, que também pode influenciar o comportamento biológico. A avaliação foi realizada em duas regiões representativas do implante (câmara e ápice), o que, embora relevante para avaliar a uniformidade geral, pode não capturar completamente as variações locais ao longo de toda a geometria do implante. Ademais, não foram realizados testes biológicos ou mecânicos para correlacionar diretamente as características superficiais observadas com o desempenho clínico ou com os resultados de osseointegração. Portanto, recomenda-se a realização de estudos futuros com amostras maiores, análises físico-químicas adicionais e avaliações biológicas para validar ainda mais a reprodutibilidade e as potenciais implicações clínicas das características superficiais identificadas.

CONCLUSÃO

Dentro das limitações deste estudo, os implantes de zircônia injetados avaliados apresentaram microtopografia homogênea e isotrópica, caracterizada por microdepressões arredondadas, uniformemente distribuídas e sem sulcos direcionais. A rugosidade superficial média foi de $0,443 \pm 0,036 \mu\text{m}$ e não diferiu significativamente entre as regiões da câmara e apical, nem entre os comprimentos dos implantes. A uniformidade superficial demonstrada reforça a confiabilidade do processo industrial e corrobora o potencial de desempenho biológico previsível em aplicações clínicas.

REFERÊNCIAS

1. Brånemark P., Hansson B., Adell R., Breine U., Lindstrom J., Hallen O., et al. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1977;16:1–132.
2. Smeets R., Stadlinger B., Schwarz F., Beck-Broichsitter B., Jung O., Precht C., et al. Impact of dental implant surface modifications on osseointegration. *Biomed Res Int.* 2016;2016(1):6285620.
3. Comino-Garayoa R., Cortés-Bretón Brinkmann J., Peláez J., López-Suárez C., Martínez-González JM., Suárez MJ. Allergies to Titanium Dental Implants: What Do We Really Know about Them? A Scoping Review. *Biology (Basel).* 2020 Nov;9(11):404. <https://doi.org/10.3390/biology9110404>.
4. Bormann K-H., Gellrich N-C., Kniha H., Schild S., Weingart D., Gahlert M. A prospective clinical study to evaluate the performance of zirconium dioxide dental implants in single-tooth edentulous area: 3-year follow-up. *BMC Oral Health.* 2018 Dec;18(1):181. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0636-x>.
5. Thomé G., Sandgren R., Bernardes S., Trojan L., Warfving N., Bellón B., et al. Osseointegration of a novel injection molded 2-piece ceramic dental implant: a study in minipigs. *Clin Oral Investig.* 2021 Feb;25(2):603–15. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03513-z>.
6. Hafezeqoran A., Koodaryan R. Effect of Zirconia Dental Implant Surfaces on Bone Integration: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biomed Res Int.* 2017;2017:1–12. <https://doi.org/10.1155/2017/9246721>.
7. Park Y., Chung S., Shon W. Peri-implant bone formation and surface characteristics of rough surface zirconia implants manufactured by powder injection molding technique in

- rabbit tibiae. *Clin Oral Implants Res.* 2013 May;24(5):586–91. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02468.x>.
8. Aldhuwayhi S. Zirconia in Dental Implantology: A Review of the Literature with Recent Updates. *Bioengineering.* 2025 May;12(5):543. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12050543>.
9. Fischer J., Schott A., Märtin S. Surface micro-structuring of zirconia dental implants. *Clin Oral Implants Res.* 2016 Feb;27(2):162–6. <https://doi.org/10.1111/clr.12553>.
10. Sun L., Hong G. Surface Modifications for Zirconia Dental Implants: A Review. *Frontiers in Dental Medicine.* 2021 Oct;2. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2021.733242>.
11. Rohr N., Hoda B., Fischer J. Surface Structure of Zirconia Implants: An Integrative Review Comparing Clinical Results with Preclinical and In Vitro Data. *Materials.* 2022 May;15(10):3664. <https://doi.org/10.3390/ma15103664>.
12. Gahlert M., Gudehus T., Eichhorn S., Steinhauser E., Kniha H., Erhardt W. Biomechanical and histomorphometric comparison between zirconia implants with varying surface textures and a titanium implant in the maxilla of miniature pigs. *Clin Oral Implants Res.* 2007 Oct;18(5):662–8. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01401.x>.
13. Depprich R., Zipprich H., Ommerborn M., Naujoks C., Wiesmann H-P., Kiattavorncharoen S., et al. Osseointegration of zirconia implants compared with titanium: an in vivo study. *Head Face Med.* 2008 Dec;4(1):30. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-4-30>.
14. Gahlert M., Roehling S., Sprecher CM., Kniha H., Milz S., Bormann K. In vivo performance of zirconia and titanium implants: a histomorphometric study in mini pig maxillae. *Clin Oral Implants Res.* 2012 Mar;23(3):281–6. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02157.x>.
15. Shon W., Chung SH., Kim H., Han G., Cho B., Park Y. Peri-implant bone formation of non-thermal atmospheric pressure plasma-treated zirconia implants with different surface roughness in rabbit tibiae. *Clin Oral Implants Res.* 2014 May;25(5):573–9. <https://doi.org/10.1111/clr.12115>.
16. Tokunaga Y., Hirota M., Hayakawa T. Influence of the Surface Chemical Composition Differences between Zirconia and Titanium with the Similar Surface Structure and Roughness on Bone Formation. *Nanomaterials.* 2022 Jul;12(14):2478. <https://doi.org/10.3390/nano12142478>.
17. Thomé G., Uhlendorf J., Vianna CP., Caldas W., Bernardes SR., Trojan LC. Clinical and radiographic success of injection-molded 2-piece zirconia implants submitted to immediate loading: A 12-month report of two cases. *Clin Case Rep.* 2021 Dec;9(12). <https://doi.org/10.1002/ccr3.5118>.
18. Rousseau N., Msolli I., Chabrand P., Destainville A., Richart O., Milan J. Local tissue effects and peri-implant bone healing induced by implant surface treatment: an *in vivo* study in the sheep. *J Periodontal Res.* 2021 Aug;56(4):789–803. <https://doi.org/10.1111/jre.12878>.

19. Tseng WJ., Chiang D. Influence of molding variables on defect formation and mechanical strength of injection-molded ceramics. *J Mater Process Technol.* 1998 Dec;84(1–3):229–35. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00225-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00225-8).
20. Matos GRM. Surface Roughness of Dental Implant and Osseointegration. *J Maxillofac Oral Surg.* 2021 Mar;20(1):1–4. <https://doi.org/10.1007/s12663-020-01437-5>.