

DESENVOLVIMENTO DE BRÁQUETE DE ZIRCONIA POR MEIO DO SISTEMA CAD/CAM

ZIRCONIA JACKET DEVELOPMENT THROUGH CAD/CAM SYSTEM

Ingrid Ferreira Coutinho¹
João Paulo de Almeida Figueiredo²
Vanessa da Silveira Fernandes³
Cyntia Esposti Veloso Machado⁴
Patrick de Lima Gomes⁵
Claudinei dos Santos⁶
Roberto de Oliveira Magnago⁷

Resumo: A aplicação da tecnologia de projeto assistido por computador e fabricação assistida por computador (CAD/CAM) no desenvolvimento de próteses dentárias trouxe inovações significativas no campo da odontologia. Esse avanço baseia-se no desenvolvimento de um modelo virtual por meio de escaneamento digital direto da boca, modelos ou moldes. Essa tecnologia permite que a estrutura digitalizada seja projetada e mapeada em um software de modelagem tridimensional (3D), como o *SolidWorks*, facilitando a criação de peças com uma redução significativa do tempo clínico e laboratorial. É uma alternativa de baixo custo aos bráquetes produzidos por métodos convencionais de injeção. O objetivo deste estudo é fabricar bráquetes de zircônia por fresagem CAD/CAM em três escalas diferentes (real, 2x e 3x) e avaliar a viabilidade e a qualidade dos produtos finais.

Palavras-chave: CAD/CAM; prótese dentária; cerâmica; zircônia.

Abstract: The application of computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM) technology in the development of dental prostheses has brought about significant innovations in the field of dentistry. This advance is based on the development of a virtual model through direct digital scanning of the mouth, models, or molds. This technology allows the scanned structure to be projected and mapped in three-dimensional (3D) modeling software, such as *SolidWorks*, facilitating the creation of parts with a significant reduction in clinical and laboratory time. It is a low-cost alternative to brackets produced by conventional injection methods. The objective of this study is to manufacture zirconia brackets by CAD/CAM milling at three

¹ Mestre em Engenharia Metalúrgica (Processamento e Caracterização de Materiais) pela Universidade Federal Sul Fluminense - UFF. E-mail: ingridfcouto@gmail.com.

² Mestrando em Materiais pelo Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA. E-mail: eng.jpaf@gmail.com.

³ Graduada em Odontologia pelo Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA. E-mail: vanessa.fernandes3@hotmail.com.

⁴ Doutoranda em Biotecnologia Industrial pela Universidade de São Paulo - USP. E-mail: cyntiaesposti@hotmail.com.

⁵ Doutorando em Ciência e Engenharia dos Materiais no IME. E-mail: patrickdelimavieira@hotmail.com.

⁶ Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ. E-mail: claudineisvr@gmail.com.

⁷ Professor responsável do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA e Professor adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. E-mail: roberto.magnago@foa.org.br.

different scales (real, 2x, and 3x) and assess the feasibility and quality of the final products.

Keywords: CAD/CAM; dental prostheses; ceramic; zirconia.

Data de submissão: 14.09.2023

Data de aprovação: 29.07.2024

Identificação e disponibilidade:

(<https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/4517>,
<http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v30i68.4517>).

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o número de pacientes que buscam alternativas estéticas para os aparelhos convencionais metálicos aumentou significativamente, e a utilização de bráquetes cerâmicos cresceu em paralelo a essa demanda (Santos, 2022). Portanto, é relevante o uso de tecnologias que reduzam o tempo de produção e desenvolvimento desses produtos. Entre essas tecnologias, destaca-se o CAD/CAM (Computer Aided Design - Computer Aided Manufacturing), que envolve o desenho de estruturas protéticas em um computador, seguido pela fabricação através de máquinas de fresagem. Introduzido na odontologia no final da década de 1970, o CAD/CAM visa automatizar processos manuais, obtendo materiais de alta qualidade, padronizados e com custos reduzidos (Abdulla et al., 2020; Laborie et al., 2024; Špelic, 2020).

A zircônia é um material com alta resistência e versatilidade em aplicações odontológicas devido às suas propriedades mecânicas, estéticas, biocompatibilidade, alta resistência à fratura e baixo módulo de elasticidade (Silva et al., 2021). Esteticamente, a zircônia possui alta opacidade e coloração branca, necessitando revestimento com cerâmica feldspática para aumentar a translucidez e obter uma coloração semelhante ao dente natural (Machry et al., 2023; Bompieri, 2020; Rodrigues et al., 2019).

Uma das vantagens da zircônia é sua biocompatibilidade com os tecidos dentários, integrando-se naturalmente aos tecidos gengivais sem causar reações alérgicas ou alteração no paladar, sendo, portanto, uma excelente alternativa para uso odontológico (Kunrath et al., 2021).

Este trabalho se propõe a confeccionar bráquetes de zircônia por fresagem CAD/CAM em três escalas diferentes (real, 2x e 3x), visando verificar a viabilidade da produção desse produto de geometria complexa e pequenas dimensões.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ZIRCÔNIA

A zircônia é um material de microestrutura policristalina que, ao ser tratado, ganha resistência e crescimento quantitativo dos cristais, tornando-se, no entanto, opaco durante esse processo (Santos et al., 2022; Jalkh et al., 2020). Seu uso é

extremamente vantajoso na área odontológica, devido à sua biocompatibilidade com os tecidos dentários. Quando implantada, a zircônia praticamente não interage com os tecidos gengivais, não causando reações alérgicas ou sensibilidade, tampouco alterações no paladar do paciente (Kunrath et al., 2021). Este material possui um ponto de fusão de 2715°C e ponto de ebulição de 4377°C, com uma aparência branco-acinzentada, dureza Mohs de 5 e resistência à flexão de até 1200 MPa. Entre suas formas polimórficas (monoclínica, tetragonal e cúbica), a transformação mecânica da fase tetragonal para a fase monoclínica causa um aumento de volume de cerca de 4%, gerando tensões compressivas que mitigam a propagação de trincas, conferindo ao material alta tenacidade (Sakaguchi et al., 2019; Arellano Moncayo et al., 2023). Esse fenômeno de tenacificação e demais propriedades, explicam o sucesso da zircônia na Odontologia, especialmente em próteses parciais fixas posteriores e pilares para próteses sobre implantes (Borgonovo et al., 2021).

Relativo à sua microestrutura, a zircônia policristalina pode ser classificada em: Fully Stabilized Zirconia (FSZ), ou zircônia totalmente estabilizada, com adição de grandes quantidades de óxidos estabilizadores (superior a 8 mol% de óxido de ítrio), mantendo uma estrutura cristalina cúbica à temperatura ambiente; Partially Stabilized Zirconia (PSZ), ou zircônia parcialmente estabilizada, composta por partículas nanométricas em formas monoclínicas e tetragonais precipitadas numa matriz de zircônia cúbica; e Tetragonal Zirconia Polycrystal (TZP), ou zircônia tetragonal policristalina, majoritariamente composta pela fase tetragonal à temperatura ambiente, com uma pequena fração cúbica, sendo esta última amplamente utilizada em aplicações odontológicas (Arellano Moncayo et al., 2023).

Durante a estabilização da fase tetragonal, passando de alta para baixa temperatura, adicionam-se óxidos estabilizadores à zircônia pura, como óxidos de magnésio (MgO), ítrio (Y_2O_3), cério (CeO_2) e cálcio (CaO), prevenindo a transição da fase tetragonal para a monoclínica e, assim, aprimorando as propriedades mecânicas da fase tetragonal (Ward, 2023). Um estudo sobre a confecção de bráquetes de zircônia tetragonal estabilizada com ítria (Y-TZP) revelou que este material pode ser perfeitamente utilizado em bráquetes ortodônticos, pinos intrarradiculares, componentes para implantes dentários, coroas unitárias e próteses parciais fixas, tanto na região anterior quanto na posterior (Ahmed et al., 2021).

2.2 PROCESSAMENTO CAD/CAM

Diante dos numerosos materiais cerâmicos disponíveis no mercado, foi criada uma classificação baseada no método de processamento, incluindo estratificação (convencional), prensagem, slip-cast, CAD/CAM (Computer Assisted Design/Computer Assisted Manufacturing) e MAD/MAM (Manual Assisted Design/Manual Assisted Manufacturing) (Silva et al., 2020). Especificamente, a tecnologia CAD/CAM é usada na produção de restaurações de próteses fixas, como coroas, pontes e facetas. Inicialmente, realiza-se a digitalização de imagens (neste estudo pelo software SolidWorks), permitindo a confecção seriada de próteses (Oliveira Alves et al., 2022). O CAD/CAM é um sistema avançado que possibilita a fabricação de próteses fundamentada num sistema tridimensional, através de um processo industrial que visa automatizar, agilizar e controlar a produção, aprimorando procedimentos cirúrgicos e restaurações odontológicas em geral, graças à utilização de desenhos esquemáticos e confecção computacional, simplificando o processo e garantindo qualidade micrométrica das próteses (Lima et al., 2019).

O modelo de gesso ou a própria arcada dentária dos pacientes pode ser digitalizado, sendo convertido em arquivos por meio de escaneamento. O processo consiste na leitura dentária (scanning), no software de desenho da restauração protética (CAD) e, finalmente, no sistema de fresagem da estrutura protética (CAM ou milling) (Lima e Silva et al., 2019). Diferente do método CAD/CAM, que utiliza blocos do material já pronto, a técnica de injeção requer várias etapas, incluindo a mistura dos materiais ligantes e do pó cerâmico separadamente, além da necessidade de polimerizar esses materiais antes da injeção. Como os materiais usados na injeção geralmente requerem um polímero principal (polímero ligante em maior quantidade que os outros componentes), possuem elevada viscosidade, exigindo alta pressão durante a injeção (Faccio et al., 2021). Além disso, a produção em série é necessária devido ao alto custo do processo, e qualquer perda de controle pode resultar na perda completa da linha de produção. Embora a injeção em baixa pressão seja possível, ela frequentemente causa problemas na extração dos ligantes, distorções e rachaduras nas peças, especialmente quando o pó utilizado é submicrométrico e as peças são espessas (Gorjan et al., 2019).

2.3 BRÁQUETES METÁLICOS

Os bráquetes metálicos foram os pioneiros na ortodontia, sofrendo várias mudanças ao longo dos anos. Novos materiais, formas e tipos de bráquetes foram introduzidos, mas os metálicos continuam populares devido às suas propriedades mecânicas, menor tempo de tratamento e custo reduzido. Bráquetes de liga de titânio são frequentemente usados devido à alta compatibilidade com o ambiente bucal, superior aos de aço inoxidável, que podem causar problemas à saúde bucal (Gómez-Gómez et al., 2020).

2.4 BRÁQUETES CERÂMICOS

A ideia de bráquetes fixados na superfície do esmalte foi desenvolvida por Newman em 1969, substituindo a técnica de bandas cimentadas. Bráquetes estéticos de policarbonato foram inicialmente desenvolvidos, mas apresentavam instabilidade de cor e outras desvantagens (Haynie, 2020).

Os bráquetes cerâmicos representam um avanço significativo na ortodontia, desenvolvidos como uma alternativa aos bráquetes plásticos, que possuíam limitações e propriedades inferiores. Com o progresso tecnológico e o avanço das pesquisas, esses bráquetes foram aprimorados para superar tais limitações (Gómez-Gómez et al., 2020). Existem dois tipos principais de bráquetes cerâmicos: os monocristalinos e os policristalinos. Os monocristalinos são produzidos por meio da fusão de massa em alta temperatura, resultando em um único cristal. Esta técnica proporciona uma estética superior devido à claridade óptica e à ausência de impurezas ou imperfeições, embora resulte em custos de fabricação mais altos. Por outro lado, os bráquetes policristalinos são moldados simultaneamente em uma operação de baixo custo, o que permite uma produção em maior escala, mas pode levar a um aumento nas imperfeições estruturais (Papageorgiou et al., 2022; Kieling et al., 2019).

Além da superioridade estética em comparação aos bráquetes metálicos, os bráquetes cerâmicos também se destacam pela sua dureza, sendo nove vezes mais duros que seus equivalentes metálicos. A técnica de descolagem dos bráquetes

cerâmicos é relativamente simples e pode ser realizada por meio de métodos como eletrotérmica, ultrassons, alicates de amarelo e laser. Em contraste, a remoção dos bráquetes metálicos geralmente requer o uso de alicates específicos que podem causar deformações e ranhuras no esmalte dental durante o processo (Patel et al., 2022).

Os bráquetes cerâmicos possuem outras propriedades vantajosas quando comparados aos metálicos. Eles apresentam menor resistência ao atrito e não são suscetíveis à oxidação causada pela decomposição dos alimentos, atividade bacteriana (por exemplo, *Streptococcus mutans*) ou compostos sulfurosos presentes na saliva. Além disso, são resistentes à reação agressiva dos íons cloreto com o aço inoxidável (tipos 304 e 316), que pode destruir a película passivadora que protege os metais contra corrosão (Goud et al., 2022).

No entanto, apesar dessas vantagens, os bráquetes cerâmicos não estão isentos de desvantagens. Eles são suscetíveis à fratura e apresentam alta fricção com fios ortodônticos, o que muitas vezes requer um canal de metal para facilitar a passagem do fio (Haynie, 2020; Campos, 2022). É importante notar que a estética dos bráquetes cerâmicos continua sendo aprimorada sem comprometer a integridade do esmalte dentário durante o tratamento ortodôntico. No entanto, as técnicas convencionais de descolagem podem causar fraturas e danos ao esmalte dentário ao final do tratamento. Portanto, a remoção cuidadosa do bráquete da superfície vestibular do dente com material resinoso seguida pela restauração das condições pré-tratamento é considerada uma abordagem mais segura (Linhares, 2021).

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, foram utilizados blocos de zircônia Ce85 (85x40x22mm) do sistema CAD-CAM. Cada bloco foi seccionado transversalmente sob refrigeração constante, com velocidade de corte calibrada em 250 rpm, obtendo-se blocos menores com dimensões de 10x10x3 mm, superfícies planas e paralelas. Então usinadas em uma fresadora CNC com broca diamantada de 0,6mm de diâmetro. As amostras, independente da escala, já foram usinadas com material sobressalente estipulando a retração de 20% e foram sinterizadas a 1500°C por 2 horas, com taxa de aquecimento de 1°C/min e resfriamento de 5°C/min.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram confeccionados três bráquetes nas escalas 1x, 2x e 3x, conforme apresentado na Figura 1. Os bráquetes produzidos na escala real 1x (Figura 2) apresentaram defeitos que inviabilizaram seu uso odontológico, se devendo principalmente as dimensões pequenas e frágeis que vieram a fraturar durante o processo de fresagem CNC ou durante a sinterização. Na escala 2x (Figura 3), houve menos defeitos de trincas e fraturas, foi possível alcançar uma correta geometria, porém o tamanho em escala maior que o comercializado impede seu uso prático. O mesmo também ocorreu com os bráquetes em escala 3x (Figura 4).

Figura 1 - Bráquetes cerâmicos de zircônia confeccionados pelo sistema CAD/CAM em resolução 1x, 2x e 3x da escala real, respectivamente.



Fonte: Os autores.

Figura 2 - Bráquetes cerâmicos de zircônia confeccionados pelo sistema CAD/CAM em resolução 1x da escala real.



Fonte: Os autores.

Figura 3 - Bráquetes cerâmicos de zircônia confeccionados pelo sistema CAD/CAM em resolução 2x da escala real.



Fonte: Os autores.

Figura 4 - Bráquetes cerâmicos de zircônia confeccionados pelo sistema CAD/CAM em resolução 3x da escala real.



Fonte: Os autores.

São evidentes as dificuldades inerentes ao desenvolvimento de bráquetes ortodônticos em escala real utilizando o sistema CAD/CAM, atribuídas principalmente à insuficiente resolução do sistema CNC utilizado, limitado a brocas diamantadas de 0.6mm de diâmetro o que dificulta confecção de geometrias reduzidas, principalmente em materiais frágeis e de elevada dureza como a zircônia.

Foi observado que a produção de bráquetes em diferentes ampliações revelou limitações significativas. Especificamente, uma ampliação de 1x não foi capaz de capturar todos os detalhes necessários do produto final, resultando em múltiplos defeitos estruturais, provavelmente decorrentes da geometria frágil e também do surgimento concentradores de tensão e trincas durante a fresagem ou durante a sinterização (Ghosh et al., 1995; Scott, 1988). A influência desses fatores diminuiu progressivamente com o aumento da ampliação, com os detalhes tornando-se mais nítidos e os defeitos menos perceptíveis nas ampliações subsequentes, alcançando uma qualidade ideal na ampliação de 3x.

Contudo, foi relatado na literatura que outros pesquisadores conseguiram fabricar bráquetes viáveis utilizando métodos análogos. No entanto, a frequência de falhas não foi reportada nos respectivos estudos (Haralur et al., 2023; González-Serrano et al., 2021).

5 CONCLUSÃO

A zircônia desponta como uma alternativa promissora na odontologia devido à sua alta resistência mecânica e compatibilidade com os sistemas de processamento modernos. Sua opacidade intrínseca justifica o uso em combinação com cerâmicas feldspáticas, que possuem uma fase vítrea capaz de imitar a translucidez do esmalte dental natural. Com a introdução do sistema CAD/CAM nos materiais odontológicos, houve um aumento na eficiência dos procedimentos protéticos em relação aos métodos tradicionais de moldagem por injeção, tanto de alta quanto de baixa pressão, resultando em redução de custos e melhora na qualidade do produto final.

Produções experimentais de bráquetes cerâmicos com diversas ampliações de projeto mostraram que um aumento na ampliação está correlacionado com a melhoria da qualidade do produto final e redução de defeitos estruturais. No entanto, concluiu-se que a fabricação de bráquetes cerâmicos pelo sistema CAD/CAM ainda é questionável comercialmente em escala real devido à ocorrência frequente de fraturas e trincas durante a usinagem, atribuídas à complexidade geométrica e fragilidade do material. Até que novas técnicas de fabricação se tornem viáveis, os pacientes e

dentistas continuarão a utilizar os bráquetes cerâmicos comerciais, apesar do custo elevado.

Para futuras pesquisas, propõe-se a caracterização detalhada do material e uma análise estatística rigorosa da taxa de perda durante a fabricação do produto. Adicionalmente, realizar uma análise fractográfica para examinar o padrão de fratura utilizando microscopia óptica ou eletrônica de varredura. Outra área a ser explorada é a modificação dos parâmetros de usinagem, como a velocidade de rotação e avanço no sistema CAD/CAM, para determinar se os defeitos observados são decorrentes das limitações do software ou hardware empregados.

REFERÊNCIAS

- Abdulla, M. A., Ali, H., & Jamel, R. S. (2020). CAD-CAM technology: a literature review. *Al-Rafidain Dental Journal*, 20(1), 95-113.
- Ahmed, T., Fareen, N., & Alam, M. K. (2021). The effect of surface treatment and thermocycling on the shear bond strength of orthodontic brackets to the Y-TZP zirconia ceramics: A systematic review. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 26(5), e212118. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.26.5.e212118.oar>
- Arellano Moncayo, A. M., Peñate, L., Arregui, M., Giner-Tarrida, L., & Cedeño, R. (2023). State of the Art of Different Zirconia Materials and Their Indications According to Evidence-Based Clinical Performance: A Narrative Review. *Dentistry Journal*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/dj11010018>.
- Bompieri, F. (2020). *A zircônia em reabilitação oral*. [Dissertação mestrado em Medicina Dentária]. Instituto Universitário de Ciências da Saúde – CESPU.
- Borgonovo, A. E., Ferrario, S., Maiorana, C., Vavassori, V., Censi, R., & Re, D. (2021). A Clinical and Radiographic Evaluation of Zirconia Dental Implants: 10-Year Follow-Up. *International Journal of Dentistry*, 2021, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/7534607>.
- Campos, B. C. (2022). *Braquetes cerâmicos impressos em 3D: Ensaio mecânico de coeficiente de atrito* [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos]. <http://hdl.handle.net/11449/237213>.
- Faccio, M., Catafesta, J., & Zorzi, J. E. (2021). Aditivos para fabricação por manufatura aditiva de pós-cerâmicos pela técnica de filamento fundido: Uma breve revisão. *Revista Tecnologia*, 42(1), 1-12. <https://doi.org/10.5020/23180730.2021.11960>
- Gómez-Gómez, S. L., Montoya-Góez, Y., González-Flórez, D. M., Restrepo-Narváez, L. M., & Ardila, C. M. (2020). Resistência ao atrito entre braquetes cerâmicos e braçadeiras autoligáveis usando análise de elementos finitos. *CES Odontologia*, 33(2), 72–85. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-971X2020000200072&script=sci_abstract&tlng=pt.

- González-Serrano, C., Phark, J.-H., Fuentes, M. V., Albaladejo, A., Sánchez-Monescillo, A., Duarte, S., & Ceballos, L. (2021). Effect of a single-component ceramic conditioner on shear bond strength of precoated brackets to different CAD/CAM materials. *Clinical Oral Investigations*, 25(4), 1953–1965. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03504-0>
- Gorjan, L., Tonello, R., Sebastian, T., Colombo, P., & Clemens, F. (2019). Fused deposition modeling of mullite structures from a preceramic polymer and γ -alumina. *Journal of the European Ceramic Society*, 39(7), 2463–2471. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.02.032>
- Ghosh, J., Nanda, R. S., Duncanson, M. G., & Currier, G. F. (1995). Ceramic bracket design: An analysis using the finite element method. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 108(6), 575–582. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(95\)70002-1](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(95)70002-1)
- Goud, S. R., Singamani, R., Bhaskar, V., Kumaran, M. K., Arafat, M., & Duvvuri, S. N. R. (2022). Comparative evaluation of antimicrobial effectiveness of titanium oxide coatings on different types of ceramic brackets against *Streptococcus mutans*. *International Dental Journal of Student's Research*, 10(2), 60–64. <https://doi.org/10.18231/j.idjsr.2022.013>
- Haralur, S. B., Alqahtani, A. M., Shibani, A. S., Alattaf, Z. M., Chaturvedi, S., AlQahtani, S. M., & Alqahtani, N. M. (2023). Influence of different surface treatment on bonding of metal and ceramic Orthodontic Brackets to CAD-CAM all ceramic materials. *BMC Oral Health*, 23(1), 564. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03246-x>
- Haynie, A. (2020). *Color Stability of 3D-Printed Orthodontic Brackets*. [Doctoral dissertation, The University of Texas School of Dentistry at Houston].
- Jalkh, E. B.B., Bergamo, E. T. P., Monteiro, K. N., Cesar, P. F., Genova, L. A., Lopes, A. C. O., Lisboa Filho, P. N., Coelho, P. G., Santos, C. F., Bortolin, F., Piza, M. M. T., & Bonfante, E. A. (2020). Aging resistance of an experimental zirconia-toughened alumina composite for large span dental prostheses: Optical and mechanical characterization. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 104, 103659. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103659>
- Kieling, T. C. B., Correr-Sobrinho, L., Godoi, A. P. T. D., Menezes, C. C. D., Venezian, G. C., & Costa, A. R. (2019). Fracture strength of monocrystalline and polycrystalline ceramic brackets during archwire torque. *Revista de Odontologia da UNESP*, 48, e20190048. <https://doi.org/10.1590/1807-2577.04819>
- Kunrath, M. F., Gupta, S., Lorusso, F., Scarano, A., & Noubissi, S. (2021). Oral Tissue Interactions and Cellular Response to Zirconia Implant-Prosthetic Components: A Critical Review. *Materials*, 14(11), 2825. <https://doi.org/10.3390/ma14112825>

- Laborie, M., Naveau, A., & Menard, A. (2024). CAD-CAM resin-ceramic material wear: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(5), 812–818. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.01.027>
- Lima e Silva, D. F. D., Silva, F. T. D., Feitosa, M. F. L., Silva, Í. M. D., & Dias, T. J. C. (2019). Utilização dos sistemas cad/cam na confecção de próteses dentárias: Revisão de literatura. *Revista Uningá*, 56(S7), 29–34. <https://doi.org/10.46311/2318-0579.56.eUJ3041>.
- Linhares, L. M. V., Medeiros, I. N. D., Almeida, G. M., Nogueira, P. L., Dantas, M. V. O., Rocha, J. F., Figueiredo, C. H. M. D. C., Guenes, G. M. T., Alves, M. A. S. G., Rosendo, R. A., Penha, E. S. D., Oliveira Filho, A. A. D., & Medeiros, L. A. D. M. D. (2021). Avaliação do padrão de descolagem de dispositivos ortodônticos fixados com adesivo hidrofílico e hidrofóbico: Uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, 10(6), e58910616012. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.16012>.
- Machry, R. V., May, M. M., Cadore-Rodrigues, A. C., Jacques, L. B., & May, L. G. (2023). Translucidez e capacidade de mascaramento de uma zircônia translúcida com diferentes espessuras sobre substratos escuros. *RGO-Revista Gaúcha de Odontologia*, 71, e20230025. <https://doi.org/10.1590/1981-86372023002520220075>
- Oliveira Alves, C. L. D., Maia, C. F. L., Moura, J. B. D., Andrade, K. L. C., & Rodrigues, R. A. A. (2022). Sistema Cad/Cam: Uma Ferramenta Digital na Odontologia Atual. *Revista Saúde em Foco*, 9(2), 40–57. <https://doi.org/10.12819/rsf.2022.9.2.3>.
- Papageorgiou, S. N., Polychronis, G., Panayi, N., Zinelis, S., & Eliades, T. (2022). New aesthetic in-house 3D-printed brackets: Proof of concept and fundamental mechanical properties. *Progress in Orthodontics*, 23(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40510-022-00400-z>
- Patel, M. P., de Souza Lourenço, V., Medeiros, I. S., Matias, M., Camilo, C. A. P., & Rocha, S. E. (2022). Resistência ao cisalhamento e avaliação da superfície de esmalte após remoção de braquetes cerâmicos monocristalinos colados com diferentes adesivos ortodônticos. *Revista Saúde-UNG-Ser*, 16(2), 18-30. <https://doi.org/10.33947/1982-3282-v16n2-5049>
- Rodrigues, C. D. S., Aurélio, I. L., Kaizer, M. D. R., Zhang, Y., & May, L. G. (2019). Do thermal treatments affect the mechanical behavior of porcelain-veneered zirconia? A systematic review and meta-analysis. *Dental Materials*, 35(5), 807–817. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.02.016>
- Sakaguchi, R., Ferracane, J., & Powers, J. (Orgs.). (2019). *Craig's Restorative Dental Materials (Fourteenth Edition)*. Elsevier.

- Santos, C., Baltazar, J., F.R.P. Alves, M., & Olhero, S. M. (2022). Development of translucent zirconia by robocasting. *Materials Letters*, 325, 132785. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132785>
- Santos, J. F. D. (2022). *Avaliação da estabilidade de cor de braquetes cerâmicos expostos a soluções com potencial de manchamento-estudo in vitro*. [Trabalho de Conclusão de Curso em Odontologia] Centro Universitário Sagrado Coração. <https://repositorio.unisagrado.edu.br/jspui/handle/handle/1112>
- Scott, G. E., Jr. (1988). Fracture Toughness and Surface Cracks —: The Key to Understanding Ceramic Brackets. *The Angle Orthodontist*, 58(1), 5–8. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1988\)058<0005:FTASC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1988)058<0005:FTASC>2.0.CO;2)
- Silva, J. M. C., de Almeida, W. C., Vieira, S. M., Santos, K. F., dos Santos, D. D. L., & Cesar, P. F. (2021). Avaliação das propriedades da zircônia monolítica translúcida utilizada em restaurações: Revisão sistematizada de literatura. *Archives Of Health Investigation*, 10, 10–10. <https://archhealthinvestigation.emnuvens.com.br/ArchHI/article/view/5320>
- Silva, L. H., De Lima, E., De Paula Miranda, R. B., Soares Favero, S., Lohbauer, U., & Cesar, P. F. (2020). Cerâmica dentária: Uma revisão de novos materiais e métodos de processamento. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, 2(8), 50–72. <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2020v2n8p50-72>
- Špelic, I. (2020). The current status on 3D scanning and CAD/CAM applications in textile research. *International journal of clothing science and technology*, 32(6), 891–907. DOI 10.1108/IJCST-07-2018-0094
- Ward, P. A. D. C. (2023). *Simulações numéricas de comportamento mecânico de implantes dentários cerâmicos à base de Y-TZP e Ce-TZP/Al₂O₃*. [Dissertação de Mestrado] Universidade Federal Fluminense. <http://app.uff.br/riuff/handle/1/28834>

AGRADECIMENTOS

Dedico o presente trabalho, e agradeço, a todas as instituições que me acolheram durante a realização deste trabalho além das agências de fomento como FAPERJ, CNPq, UFF, UERJ e FOA.