

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Diana Ghiggi Basso

**RESISTÊNCIA À FLEXÃO E ADESIVA DE ZIRCÔNIA
ULTRA-TRANSLÚCIDA APÓS IRRADIAÇÃO COM
LASER DE ALTA POTÊNCIA – ER: YAG**

Passo Fundo

2024

Diana Ghiggi Basso

**RESISTÊNCIA À FLEXÃO E ADESIVA DE ZIRCÔNIA
ULTRA-TRANSLÚCIDA APÓS IRRADIAÇÃO COM
LASER DE ALTA POTÊNCIA – ER: YAG**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da UPF, para obtenção do título de Doutor em Odontologia – Área de Concentração em Clínica Odontológica, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Paula Benetti.

Passo Fundo

2024

Folha reservada para
Ata de aprovação da Banca Examinadora

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.
Após, faça a substituição pela Ata de aprovação fornecida pela
Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

Folha reservada para
Ficha catalográfica

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.
Após, faça a substituição pela Ficha Catalográfica fornecida pela
Biblioteca Central de Estudantes da UPF para manter a correta
numeração do seu trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Diana Ghiggi Basso

Nascida em 08/12/1977, concluiu a graduação em Odontologia pela ULBRA – Torres/RS, 2002. Especialista em Ortodontia pela UNINGÁ/MG, 2010. Especialista em Endodontia pela IMED – CEOM, 2018. Mestra em Clínica Odontológica, ênfase em Biomateriais e Reabilitação Oral pela UPF/RS, 2021. Doutoranda em Clínica Odontológica com ênfase em Biomateriais e Reabilitação Oral pela UPF/RS. Atualmente atua como cirurgião dentista no consultório odontológico DGB - Guaporé/RS e como docente na graduação do Curso de Odontologia da Uniftec – Faculdade de tecnologia – Bento Gonçalves/RS.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu mestre superior, que desde o início da minha carreira esteve e continua ao meu lado, me guiando. A ele digo: “Eu quero, eu posso, eu consigo...todas as coisas”. Às pessoas mais importantes da minha vida e meus grandes amores, meu esposo, Sidinei Â. Basso e minhas filhas, Marjorie Sara e Mikaela Ester, pela preocupação, pela paciência e por todo amor incondicional que demonstraram por mim ao longo de todos esses anos de estudos. A meus pais, Avelino Ghiggi e Olga Maria Finatto Ghiggi, por todo amor e carinho transmitidos ao longo da minha formação. Aos meus irmãos, Daniela, Deonilse e Diego, pelo apoio e incentivo prestados. À minha prestativa orientadora Prof^ª. Paula Benetti por estar sempre confiante, apostando sempre na minha capacidade, me incentivando e me apoiando do início ao fim. À magnífica Prof^ª. Patrícia Moreira de Freitas Costa e Silva pelo carinho prestado e pela recepção positiva quando estive na Universidade de São Paulo - USP, onde desde o começo sempre se prontificou em me apoiar e me ajudar no meu trabalho. À secretária Fabiana Pimentel que sempre com seu sorriso contagiante, nunca mediu esforços para me ajudar. Ao laboratório de prótese Trevisani por

inúmeros momentos de ajuda e apoio em desenvolver as minhas amostras, sempre com muito cuidado e dedicação. À minha auxiliar e amiga Júlia Marangão, pelos auxílios prestados e pela companhia de todos os dias. À Universidade de São Paulo (USP) que me acolheu grandiosamente e não mediu esforços para que meu trabalho chegasse aos resultados finais. Ao PPGOdonto por me proporcionar tudo de melhor para o andamento da pesquisa. Ao órgão financiador da bolsa e da infraestrutura de pesquisa – CAPES, por toda estrutura apresentada para que meu projeto e minha Tese chegassem ao topo. Aos meus professores, amigos, colegas e alunos, os quais tive contato e por último, agradeço imensamente à Universidade de Passo Fundo (UPF) pelo acolhimento positivo e pela disponibilidade de todos os benefícios importantes ao longo dos cinco anos de estudo (mestrado e doutorado), os quais contribuíram positivamente para que meu trabalho chegasse ao sucesso. A todos que aqui não foram citados, mas que de alguma forma, participaram da minha jornada e ainda mais para a conclusão de mais uma etapa da minha vida. MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS.....	11
RESUMO	14
ABSTRACT	16
INTRODUÇÃO	17
PROPOSIÇÃO.....	243
ARTIGO I.....	25
ARTIGO II	56
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
REFERÊNCIAS.....	89
APÊNDICES.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos materiais utilizados no estudo.

Tabela 2 - Protocolos de irradiação testados em estudo piloto.

Tabela 3 - Resultado da análise de comparação entre os dados de resistência à flexão biaxial dos grupos experimentais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto da superfície dos corpos de prova dos grupos experimentais do estudo piloto sob microscopia eletrônica de varredura (x20K).

LISTA DE ABREVIATURAS

σ_f - resistência à flexão biaxial

σ_s - resistência de união

Y-TZP – Zircônia tetragonal policristalina estabilizada com ítria

Er:YAG – Érbio – Ítrio – Alumínio - Granada

3Y-TZP – Zircônia tetragonal policristalina estabilizada com 3% mol de ítria

4Y - PSZ – Zircônia tetragonal policristalina estabilizada com 4% mol de ítria

5Y - PSZ – Zircônia tetragonal policristalina estabilizada com 5% mol de ítria

Al_2O_3 – Óxido de Alumínio

GPa – Gigapascal

Mpa. $M\frac{1}{2}$ - medida de pressão

CAD/CAM – Computer – aided design / computer – aided manufacturing

N – Newton

m – Monoclínica

t – Tetragonal

c – cúbica

O₂ – Oxigênio

ZrO – Óxido de Zircônio

OH – Hidroxila

LTD – Degradation at low temperature or hydrothermal aging - Degradação sob baixa temperatura ou envelhecimento hidrotérmico

Y₂O₃ – Óxido de ítrio

FDPs – Fixed partial dentures – Próteses parciais fixas

µm - microns

MZ – Zircônias monolíticas

PZ – Zircônias parcialmente revestidas

K – Kelvin

W – Watts

s – Segundos

MDP – metacrilóiloxidecil dihidrogênio fosfato

HEMA – Hidroxietilmetacrilato

GPDM – Dimetacrilato de glicerolfosfato

META – Metacrilato

Bis-GMA - Bisfenol glicidil metacrilato

TEGDMA – Dimetacrilato de trietilenoglicol

UEDMA – Metano dimetacrilato

° C – Graus Celsius

mJ – energia de pulso

Hz – Hertz

SBS – Shear bond strength - Resistência de união ao cisalhamento

HFO – Ácido hipofluoroso

CPs – Corpos de prova

cm² – Centímetros quadrados

mm/min – Milímetros por minuto

J/cm² – Joule por centímetro quadrado

(°) – Grau

Ra – rugosidade média aritmética

Rq – Rugosidade média quadrática

Rz – Rugosidade parcial

Rmáx – Rugosidade máxima

MEV – Microscópio eletrônico de varredura

RESUMO¹

Objetivo: avaliar o efeito da irradiação com laser de Er:YAG na resistência à flexão biaxial e resistência adesiva ao cisalhamento de zircônia policristalina parcialmente estabilizadas com 5mol% de ítria (5Y-PSZ). **Materiais e métodos:** foram confeccionadas 120 amostras de zircônia em formato de discos (0,7mm de espessura x 12 mm de diâmetro) para o teste de resistência à flexão biaxial (σ_f , N=90) e de resistência adesiva ao cisalhamento (σ_s , N=30). As amostras foram divididas aleatoriamente em 03 grupos experimentais (n=40) para o tratamento de superfície: sem tratamento (Ctrl), jateamento com partículas de óxido de alumínio de 50 μm (Jat) e irradiação com laser de Er:YAG (Las). 30 corpos-de-prova de cada grupo foram submetidos ao teste de resistência à flexão biaxial (*piston-on-three-balls*, σ_f) em máquina de ensaios universal sob carga compressiva (0,5 mm/min) até a fratura. A superfície tratada permaneceu sob tração durante o teste, e a σ_f foi calculada. Para o teste de resistência ao cisalhamento (σ_s), cilindros de resina composta (2mm de diâmetro e 5 mm de altura) foram cimentados adesivamente sobre a superfície tratada dos demais discos de zircônia (n=10). A interface adesiva foi submetida ao teste de

¹ Diana Ghiggi Basso

cisalhamento em máquina de ensaios universal com velocidade de 0,5mm/min até a falha e a σ_s foi calculada. Os dados de σ_f e σ_s foram analisados por ANOVA e Tukey (5%). **Resultados:** A irradiação com laser de alta potência mostrou valores de σ_f semelhantes ao tratamento convencional com jateamento, mas inferiores ao grupo controle. **Conclusão:** Os tratamentos de superfície analisados influenciaram positivamente o desempenho mecânico da zircônia translúcida.

Palavras-chave: Resistência à flexão; Resistência adesiva; Jateamento; Laser; Cimentação; Zircônia.

ABSTRACT²

Objective: To evaluate the effect of laser irradiation of Er:YAG in the biaxial flexural strength and adhesive shear strength of polycrystalline zirconia partially stabilized with 5mol% yttria (5Y-PSZ). **Materials and methods:** A total of 120 zirconia samples were made in the shape of discs (0.7 mm thick x 12 mm in diameter) for the test of biaxial flexural strength (σ_f , N=90) and adhesive shear strength (σ_s , N=30). The samples were randomly divided into 03 experimental groups (n=40) for surface treatment: untreated (Ctrl), blasting with 50 μ m aluminum oxide particles (Jat) and irradiation with Er:YAG laser (Las). 30 specimens from each group were submitted to the biaxial flexural strength test (piston-on-three-balls, σ_f) in a universal testing machine under compressive load (0.5 mm/min) until fracture. The treated surface remained under tensile strength during the test, and the σ_f was calculated. For the shear strength (σ_s) test, composite resin cylinders (2 mm in diameter and 5 mm in height) were adhesively cemented on the treated surface of the other zirconia discs (n=10). The adhesive interface was submitted to the shear test in a universal testing machine with a speed of 0.5 mm/min until the failure and the σ_s was calculated. The σ_f and σ_s data were analyzed by

² Fracture and adhesive strength of translucent zirconia after high-power laser irradiation – ER: YAG

ANOVA and Tukey (5%). **Results:** Irradiation with high-power laser showed σ_f values similar to conventional treatment with jetting, but lower than the control group. **Conclusion:** The analyzed surface treatments positively influenced the mechanical performance of translucent zirconia.

Keywords: Flexural strength; Adhesive resistance; Blasting; Laser; Cementation; Zirconia.

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas sobre materiais cerâmicos para aplicações dentárias levaram ao desenvolvimento de uma classe de materiais de alta resistência: as cerâmicas policristalinas à base de zircônia, apresentando biocompatibilidade, alta resistência à flexão (700-1200 Mpa), tenacidade à fratura (7-10 MPa m^{1/2}), resistência à fratura de mais de 2.000 N, dureza e estabilidade química (Ghasemi et al., 2014; Kirmali et al., 2015; Cxağlar, et al., 2016; Takar et al., 2019; Garayoa et al., 2021; Kabiri et al., 2021; Bitencourt et al., 2021; Abdulsatar et al., 2021).

Dióxido de zircônio (zircônia) origina-se da palavra árabe Zargon (ouro em cor), cuja etimologia vem das palavras persas Zar (ouro) e Gun (cor). As cerâmicas de zircônia foram introduzidas na Odontologia, demonstrando excelentes propriedades mecânicas e

facilidade de obtenção por desenho e usinagem no estágio verde computadorizados (Computer-aided design and computer-aided manufacturing, CAD-CAM) (Bispo, 2015).

A zircônia pode assumir três fases principais: a monoclinica (m) estável em temperatura ambiente até cerca de 1170 °C, a tetragonal (t) encontrada de 1170°C até 2370 °C, e a cúbica (c) de 2370 °C até a temperatura de fusão (2680 °C). A fase monoclinica apresenta baixa resistência à flexão e dureza, devido à grande distância entre os cristais. Inicialmente, óxidos estabilizadores como o de ítrio foram adicionados à zircônia para estabilizar a fase tetragonal, mais resistente, à temperatura ambiente, permitindo seu uso na Odontologia. Os cristais estabilizados na fase tetragonal podem alterar seu arranjo para a monoclinico por meio de transformação martensítica em resposta à estímulos termomecânicos, como por exemplo a formação de uma trinca. Ao redor da ponta de uma trinca, os cristais tetragonais transformam-se em monoclinicos, gerando um aumento do volume dos cristais de 3 a 5% o que resulta em uma força que se opõe à abertura da trinca, aumentando a resistência do material. Este mecanismo é conhecido como tenacificação por transformação e é o principal responsável pela resistência da zircônia semelhante aos metais (Mosharraf et al., 2011; Cxağlar, et al., 2016; Abdulsatar et al., 2021).

Apesar de apresentar alta tenacidade, esta primeira zircônia tetragonal policristalina estabilizada por 3mol% de ítria (3Y-TZP de 1ª geração) apresenta opacidade maior do que as cerâmicas vítreas, devido à birrefringência inerente da fase tetragonal da zircônia, resultando na dispersão de luz nos limites de grãos. A opacidade restringe seu uso às infraestruturas, que são recobertas por cerâmicas translúcidas. Para permitir a confecção de restaurações monolíticas que atendam as demandas estéticas, houve modificações significativas na microestrutura (redução do tamanho de partículas e diminuição de porosidades por aumento da temperatura de sinterização) e na composição (quantidade de alumina, concentração de ítrio e quantidade de fase cúbica) da zircônia 3Y-TZP (2ª geração), tornando-as mais translúcidas (Bispo, 2015; Tuncel et al., 2016; Zhang & Lawn, 2018; Mesic et al., 2020). A 3Y-TZP de 2ª geração aumentou sua translucidez preservando a resistência da 1ª geração, contudo, ainda são insuficientemente estéticas para uso monolítico na região anterior dos maxilares.

O desenvolvimento da zircônia para uso monolítico em região estética passou por uma nova alteração microestrutural, com a inclusão da fase cúbica, altamente translúcida, na composição final. À medida que a proporção de cristais cúbicos aumenta, a dispersão da luz diminui nos limites dos grãos, tornando o material mais translúcido e mais estético. Para estabilizar as fases tetragonal

e cúbica dessa 3ª geração de zircônia, um teor de óxido de ítrio superior foi necessário, produzindo as zircônias policristalinas parcialmente estabilizadas por 4% em mol (4Y-PSZ) ou 5% em mol de ítrio (5Y-PSZ). Isso resultou em aumento significativo da translucidez da zircônia, contudo, houve decréscimo dos valores de resistência e tenacidade, pois a zircônia cúbica não sofre transformação induzida por tensão (Ottoni & Borba, 2018; Mao et al., 2018; Kaiser et al., 2018; Zhang & Lawn, 2018; Carrera et al., 2019; Inokoshi et al., 2020; Arcila et al., 2021; Ruíz et al., 2021; Zhang et al., 2023).

Essa redução de resistência apresentada pelas zircônias translúcidas pode influenciar o desempenho mecânico das restaurações, especialmente após os tratamentos convencionais da superfície de cimentação como o jateamento com partículas de alumina. As cerâmicas à base de zircônia são resistentes à corrosão com o ácido fluorídrico, devido à ausência de sílica. Então, o jateamento de partículas, a irradiação à laser, a silicatização triboquímica e aplicação primer de zircônia, têm sido sugeridos para aumentar a sua resistência de união com cimentos resinosos (Steiner et al., 2020).

O jateamento com partículas de óxido de alumina, revestidas ou não por sílica, é frequentemente realizado para aumentar a rugosidade superficial e, portanto, a área adesiva das zircônias. Os cimentos resinosos penetram nas irregularidades da superfície

jateada e promovem o intertravamento micro mecânico com superfície da zircônia (Yue et al., 2019). Contudo, este tratamento pode introduzir micro trincas e defeitos na superfície, especialmente nas zircônias translúcidas, reduzindo a sua resistência mecânica (Belo et al., 2013; Kasraei et al., 2014; Arami et al., 2014; Liu et al., 2015; Cxağlar et al., 2016; Carrera et al., 2019; Tokar et al., 2019; Joukhadar et al., 2020; Maciel et al., 2020; Saade et al., 2020; Tzanakakis et al., 2021; Abdulsatar et al., 2021; Bitencourt et al., 2021; Ulgey et al., 2021; Garayoa et al., 2021; Akar et al., 2021; Kabiri et al., 2021; Fornaini et al., 2021; Toyoda et al., 2022; Alsarani et al., 2023).

Vários tratamentos de superfície alternativos têm sido sugeridos para a cimentação da zircônia. Alguns estudos têm sugerido irradiação com lasers para aumentar a rugosidade de superfície, melhorar a molhabilidade e a adesão entre cerâmicas e cimentos resinosos (Kasraei et al., 2014; Cxağlar et al., 2016; Tokar et al., 2019; Joukhadar et al., 2020; Ulgey et al., 2021; Tzanakakis et al., 2021; Abdulsatar et al., 2021; Bitencourt et al., 2021; Alsarani et al., 2023).

O principal efeito da energia do laser é fototérmico, ou seja, a conversão da energia da luz em calor, sendo o mais significativo entre o laser e o substrato a absorção da energia do laser pelo substrato. A quantidade de energia absorvida pelas superfícies irradiadas depende de características como

pigmentação e conteúdo de água, do comprimento de onda da luz do laser e seu modo de emissão (Cxağlar et al., 2016; Kunt & Duran, 2018).

Ao irradiar as superfícies de materiais dentários com lasers, a qualidade da adesão pode ser melhorada devido à asperização. Quando um feixe com laser de granada de ítrio-alumínio dopado com érbio (Er:YAG) é focado na superfície do material, ocorre remoção do material por micro explosões e por evaporação, um processo chamado de ablação termomecânica (Da Silva et al., 2020; Ulgey et al., 2021; Tzanakakis et al., 2021; Hatami et al., 2021; Kabiri et al., 2021; Saran et al., 2023).

Atualmente, a tecnologia a laser é utilizada em aplicações clínicas, principalmente para o manejo de tecidos moles e duros, e na área de materiais odontológicos. O uso de laser em odontologia parece promissor, uma vez que permitem o processamento de superfície mesmo para cerâmicas muito duras, como a zircônia (Tzanakakis et al., 2021; Abdulsatar et al., 2021; Bitencourt et al., 2021; Alsarani et al., 2023).

Além disso, a aplicação de primers, adesivos ou um cimento resinoso contendo o monômero 10-metacrilóiloxidecil dihidrogenofosfato (10-MDP) melhora a molhabilidade da superfície, promovendo uma maior união com a zircônia (Soares et al., 2016; Garayoa et al., 2021; Toyoda et al., 2022).

Os cimentos resinosos adesivos são considerados os materiais de eleição para a cimentação de peças à base de zircônia, pois asseguram melhor retenção pela adesão e resistência mecânica da restauração a longo prazo, melhorando a longevidade dos casos de preparos que são expulsivos (Soares et al., 2016).

Para avaliar a resistência da zircônia, o teste de resistência à fratura por flexão é frequentemente utilizado. A resistência à flexão das zircônias 3Y-TZP tem sido reportado entre 900 a 1400 MPa, e para as zircônias com maior conteúdo cúbico (4YPSZ e 5YPSZ) variam entre 550 a 800 MPa (Spintzyk et al., 2020; Tzanakakis et al., 2021). No entanto, o efeito de diferentes tratamentos de superfície das zircônias ultra translúcidas deve ser ainda esclarecido. Para avaliar a resistência de união entre cimento resinoso e zircônia, é sugerido o teste de cisalhamento por apresentar fácil execução e baixo custo (Le et al., 2019; Lopes et al., 2021).

2. PROPOSIÇÃO

2.1. Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo geral verificar a resistência à fratura e adesiva de zircônia translúcida (5Y-PSZ) após a irradiação com laser.

2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- 1) Avaliar a resistência à flexão biaxial de zircônia translúcida 5Y após irradiação com laser. Testando a hipótese de que a irradiação com laser Er-YAG não altera a resistência da zircônia.
- 2) Avaliar a resistência de união ao micro cisalhamento de resina composta cimentada adesivamente à zircônia translúcida após irradiação com laser. Testando a hipótese de que a irradiação aumenta a resistência de união da resina à zircônia.

ARTIGO I

**RESISTÊNCIA À FLEXÃO BIAXIAL DE ZIRCÔNIA
TRANSLÚCIDA 5 Y-TZP, APÓS IRRADIAÇÃO COM
LASER DE ALTA POTÊNCIA – ER: YAG**

¹ Diana Ghiggi Basso

² Paula Benetti

³ Leonardo Saraiva

⁴ Patrícia Moreira de Freitas Costa e Silva

¹ Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil.

² Professor at the Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil

³ Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil.

⁴ Professor at the Faculty of Dentistry – USP; Co-responsible for the Special Laboratory of Laser in Dentistry (LELO).

Resumo

Objetivo: avaliar o efeito do da irradiação com laser de Er:YAG na resistência à fratura de zircônia policristalina parcialmente estabilizada com 5mol% de ítria (5Y-PSZ). **Materiais e métodos:** foram confeccionados 90 corpos de prova de zircônia em formato de disco (0,7 mm de espessura x 12 mm de diâmetro), que foram divididos aleatoriamente em 03 grupos experimentais (n=30): sem tratamento de superfície (contr), jateamento com partículas de alumina de 50 μm (Jat) e irradiação com laser de Er:YAG (Las). Corpos de prova de cada grupo foram submetidos ao teste de flexão biaxial (σ_f), com a superfície tratada sob tração, sob carga compressiva (0,5 mm/min) em máquina de ensaios universal até a fratura. A carga máxima de fratura foi registrada (N) e a σ_f foi calculada (MPa). Os dados de σ_f foram analisados por ANOVA e Tukey (5%). As superfícies de fratura foram analisadas em microscopia óptica. **Resultados:** O jateamento e a irradiação com laser de alta potência resultaram em σ_f semelhantes, mas inferior ao grupo controle. **Conclusão:** Os tratamentos de superfície analisados influenciaram negativamente o desempenho mecânico da zircônia translúcida.

Palavras-chave: Teste de Resistência; Jateamento; Laser; Zircônia.

1. INTRODUÇÃO

As zircônias odontológicas são materiais que apresentam alta tenacidade e translucidez mais elevada do que os metais, sendo amplamente utilizadas em reabilitações que demandam resistência às cargas oclusais e estética. Os cristais de zircônia podem assumir três fases principais: a monoclinica (m) estável em temperatura ambiente até cerca de 1170 °C, a tetragonal (t) encontrada de 1170°C até 2370 °C, e a cúbica (c) de 2370 °C até a temperatura de fusão (2680 °C). A fase monoclinica apresenta baixa resistência à flexão e dureza, devido à grande distância entre os cristais. Inicialmente, óxidos estabilizadores como o de ítrio foram adicionados à zircônia para estabilizar a fase tetragonal, mais resistente, à temperatura ambiente, permitindo seu uso na Odontologia. Os cristais estabilizados na fase tetragonal podem alterar seu arranjo para a monoclinico por meio de transformação martensítica em resposta à estímulos termomecânicos, como por exemplo a formação de uma trinca. Ao redor da ponta de uma trinca, os cristais tetragonais transformam-se em monoclinicos, gerando um aumento do volume dos cristais de 3 a 5% o que resulta em uma força que se opõe à abertura da trinca, aumentando a resistência do material. Este mecanismo é conhecido como tenacificação por transformação e é o principal responsável pela

resistência da zircônia semelhante aos metais (Mosharraf et al., 2011; Cxağlar, et al., 2016; Abdulsatar et al., 2021).

Apesar de apresentar alta tenacidade, esta primeira zircônia tetragonal policristalina estabilizada por 3mol% de ítria (3Y-TZP de 1ª geração) apresenta opacidade maior do que as cerâmicas vítreas, devido à birrefringência inerente da fase tetragonal da zircônia, resultando na dispersão de luz nos limites de grãos. A opacidade restringe seu uso às infraestruturas, que são recobertas por cerâmicas translúcidas. Para permitir a confecção de restaurações monolíticas que atendam as demandas estéticas, houve modificações significativas na microestrutura (redução do tamanho de partículas e diminuição de porosidades por aumento da temperatura de sinterização) e na composição (quantidade de alumina, concentração de ítrio e quantidade de fase cúbica) da zircônia 3Y-TZP (2ª geração), tornando-as mais translúcidas (Bispo, 2015; Tuncel et al., 2016; Zhang & Lawn, 2018; Mesic et al., 2020). A 3Y-TZP de 2ª geração aumentou sua translucidez preservando a resistência da 1ª geração, contudo, ainda são insuficientemente estéticas para uso monolítico na região anterior dos maxilares.

O desenvolvimento da zircônia para uso monolítico em região estética passou por uma nova alteração microestrutural, com a inclusão da fase cúbica, altamente translúcida, na composição final. À medida que a proporção de cristais cúbicos aumenta, a

dispersão da luz diminui nos limites dos grãos, tornando o material mais translúcido e mais estético. Para estabilizar as fases tetragonal e cúbica das zircônias translúcidas, um teor de óxido de ítrio superior foi necessário, produzindo as zircônias policristalinas parcialmente estabilizadas por 4% em mol (4Y-PSZ) ou 5% em mol de ítrio (5Y-PSZ). Isso resultou em aumento significativo da translucidez da zircônia, contudo, houve decréscimo dos valores de resistência e tenacidade, pois a zircônia cúbica não sofre transformação induzida por tensão (Ottoni & Borba, 2018; Mao et al., 2018; Kaiser et al, 2018; Zhang & Lawn, 2018; Carrera et al., 2019; Inokoshi et al., 2020; Arcila et al., 2021; Ruíz et al., 2021; Zhang et al., 2023).

Os tratamentos de superfície para cimentação das zircônias translúcidas ainda são um desafio. É conhecido que as cerâmicas de zircônia policristalinas são resistentes à corrosão com o ácido fluorídrico, devido à ausência de sílica. O jateamento de partículas de óxido de alumínio, revestidas ou não por sílica, é frequentemente realizado para aumentar a rugosidade superficial e, portanto, a área adesiva das zircônias (Steiner et al., 2020). Os cimentos resinosos penetram nas irregularidades da superfície asperizada e promove o intertravamento micro mecânico com superfície da zircônia (Yue et al., 2019). Contudo, as zircônias translúcidas 4Y-PSZ e 5Y-PSZ apresentam menor resistência mecânica do que as 3Y-TZP, sendo potencialmente mais sensíveis

à agressão provocada pelo impacto de partículas. O jateamento pode introduzir micro trincas e defeitos na superfície das zircônias translúcidas, reduzindo a sua resistência mecânica (Belo et al., 2013; Kasraei et al., 2014; Arami et al., 2014; Liu et al., 2015; Cxağlar et al., 2016; Carrera et al., 2019; Tokar et al., 2019; Joukhadar et al., 2020; Maciel et al., 2020; Saade et al., 2020; Tzanakakis et al., 2021; Abdulsatar et al., 2021; Bitencourt et al., 2021; Ulgey et al., 2021; Garayoa et al., 2021; Akar et al., 2021; Kabiri et al., 2021; Fornaini et al., 2021; Toyoda et al., 2022; Alsarani et al., 2023).

Em estudo previamente realizado, o efeito do jateamento na resistência mecânica variou conforme o tipo de zircônia, aumentando a resistência da 3YTZP e diminuindo a resistência da 5YPSZ (McLaren et al., 2019). Num outro estudo observou-se que os valores médios encontrados para os grupos experimentais a 5Y-PSZ apresentou menor σ_f do que a 3Y-TZP ($p < 0,001$). Para 5Y-PSZ, o jateamento reduziu significativamente a σ_f e o cimento não a influenciou ($p < 0,001$). Para 3Y-TZP, a σ_f foi significativamente aumentada pelo jateamento, a qual persistiu com a presença do cimento ($p < 0,001$). O efeito do jateamento na σ_f dependeu do tipo de zircônia, sendo positivo para 3Y-TZP (opaca) e negativo para a 5Y-PSZ (translúcida). A menor média de resistência à flexão foi registrada no grupo 5Y_J e a maior no grupo 3Y_J (Basso et al., 2021). Portanto, observou-se que a da zircônia 5Y-PSZ torna-se

menos resistente à fratura após jateamento com alumina. Então, uma investigação sobre as possíveis alternativas de tratamento superficial para a zircônia é importante como a irradiação com laser de Er:YAG.

Vários tratamentos de superfície alternativos têm sido sugeridos para a cimentação das zircônias translúcidas, como a irradiação com laser que tem o potencial de aumentar a rugosidade de superfície, melhorar a molhabilidade e a adesão entre cerâmicas e cimentos resinosos (Kasraei et al., 2014; Cxağlar et al., 2016; Tokar et al., 2019; Joukhadar et al., 2020; Ulgey et al., 2021; Tzanakakis et al., 2021; Abdulsatar et al., 2021; Bitencourt et al., 2021; Alsarani et al., 2023).

O principal efeito da energia do laser é foto térmico, ou seja, a conversão da energia da luz em calor, sendo o mais significativo entre o laser e o substrato a absorção da energia do laser pelo substrato. A quantidade de energia absorvida pelas superfícies irradiadas depende de características como pigmentação e conteúdo de água, do comprimento de onda da luz do laser e seu modo de emissão (Cxağlar et al., 2016; Kunt & Duran, 2018).

Ao irradiar as superfícies de materiais dentários com lasers, a qualidade da adesão pode ser melhorada devido à asperização. Quando um feixe com laser de granada de ítrio-alumínio dopado com érbio (Er:YAG) é focado na superfície do material, ocorre remoção do material por micro explosões e por evaporação, um

processo chamado de ablação termomecânica (Da Silva et al., 2020; Ulgey et al., 2021; Tzanakakis et al., 2021; Hatami et al., 2021; Kabiri et al., 2021; Saran et al., 2023).

A irradiação com laser apresenta o potencial de alterar a superfície de maneira mais controlada do que os métodos tradicionais (Ruja et al., 2019; Joukhadar et al., 2020), produzindo valores médios de resistência de união superiores ou semelhantes aos obtidos com tratamentos convencionais (Da Silva et al., 2020). Contudo, seu efeito nas zircônias translúcidas ainda resta ser investigado.

O objetivo do presente estudo foi de investigar o efeito da irradiação com laser de alta potência na resistência à flexão de zircônia policristalina parcialmente estabilizada com 5mol% de ítria (5Y-PSZ). A hipótese testada é de que a irradiação não influencia a resistência da zircônia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no estudo estão descritos na Tabela 1. O bloco de zircônia translúcida foi usinado em torno e seccionados em cortadeira (Cortadeira Metalográfica LCD 12 00 RPM – Biopdi) na fase verde para obtenção de 90 corpos de prova (N=90) em formato de discos (1,10 de espessura x 14,8 mm de diâmetro).

Os corpos de prova foram regularizados com lixas d'água de granulação #100, limpos em banho sônico sob imersão em água destilada durante 5 min para remoção de detritos provenientes da usinagem e secos em estufa a 37°C. As dimensões foram checadas por paquímetro digital (ABS absolute digimatic, Mitutoyo) e a sinterização foi realizada seguindo a recomendação do fabricante. Os corpos de prova (CPs) foram novamente medidos com paquímetro digital e os que não apresentaram as dimensões requisitadas para o estudo (0.7 mm de espessura x 12 mm de diâmetro) foram descartados e substituídos por novos.

Tabela 1: Descrição dos materiais utilizados no estudo.

Materiais	Descrição	Composição Química
Ceramill Zolid FX – White (5Y-PSZ)	Zircônia translucidez superelevada de 4ª geração	de ZrO_2 , HfO_2 , Y_2O_3 Y_2O_3 $Y_2O_3 \geq 9,15 - 9,00 \%$ $HfO_2: \leq 5$ $Al_2O_3: \leq 0,5$
Partículas de Óxido de Alumínio	Abrasivo	Óxido de alumínio (Al_2O_3) com tamanho médio de partículas de 50μ

Os corpos de prova de zircônia (5Y-PSZ) foram divididos em três grupos experimentais (n=30) conforme o tratamento da

superfície: sem tratamento (Ctrl); jateamento com partículas de Al_2O_3 (Jat) e irradiação com laser de alta potência Er: (YAG) (Las).

2.1 Protocolo de irradiação com laser Er: (YAG)

A irradiação laser foi realizada utilizando laser Er:YAG (Fidelis III; Fotona) (comprimento de onda = 2.940 nm). A peça de mão R02-C com fibra óptica cilíndrica de safira (AS7077X 0,8 x 0.8 mm de diâmetro x 8 mm de comprimento). A superfície cerâmica foi irradiada simultaneamente com irrigação com água.

Para seleção dos parâmetros do laser a serem utilizados no experimento, foi realizado um estudo piloto com base no estudo de Moretto et al (2020), variando-se a energia (200mJ e 250mJ); taxa de repetição (15 e 10 Hz); potência (3.0 e 2.5 W); e densidade de energia (71,42 e 89,28 J/cm²), e a inclinação do feixe (45 ou 90°), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Protocolos de irradiação testados em estudo piloto.

Protocolo	Energia de Pulso (mJ)	Taxa de repetição (Hz)	Potência (w)	Densidade de energia (J/cm²)	Direção da Irradiação (°)
1	200	15	3.0	71.42	90
2	200	15	3.0	71.42	45

3	250	10	2.5	89.28	90
4	250	10	2.5	89.28	45

Os corpos de prova foram analisados sob microscopia óptica e eletrônica de varredura investigando alterações significativas de superfície e presença de defeitos, como trincas, gerados pela irradiação (Figura 1).

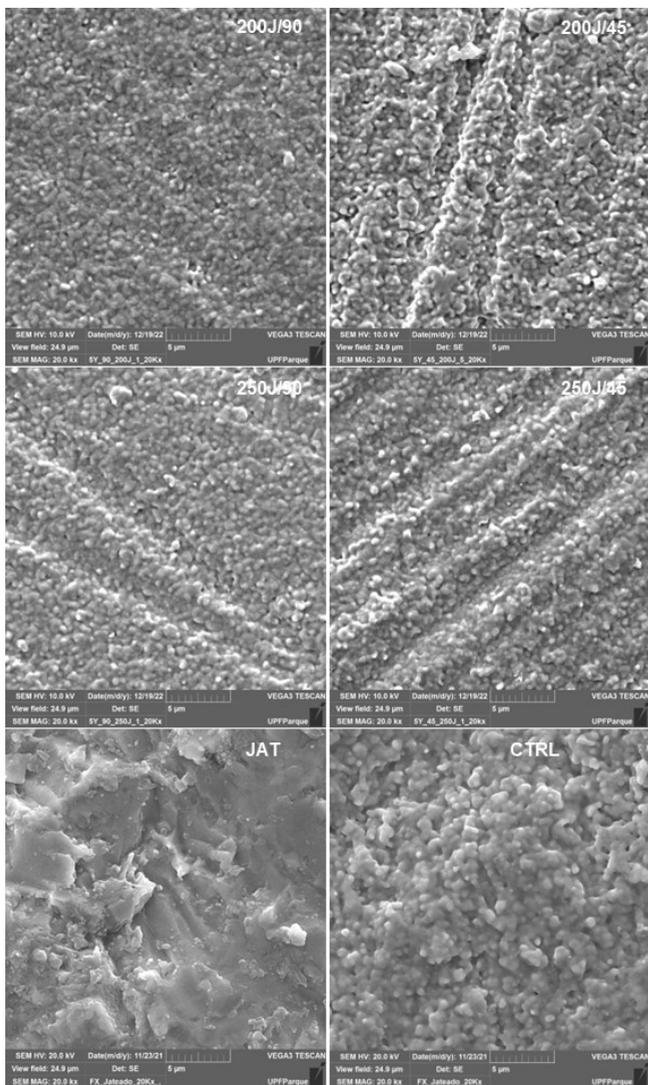


Figura 1. Aspecto da superfície dos corpos de prova dos grupos experimentais do estudo piloto sob microscopia eletrônica de varredura (x20K).

Não foi observada diferença de topografia ou presença de trincas, fissuras ou defeitos significativos na superfície dos corpos de prova irradiados com laser com diferentes protocolos. Então, foi selecionado o Protocolo 3 (energia de 250mJ; taxa de repetição de 10 Hz; potência de 2.5 W; densidade de energia de 89,28 J/cm²); e inclinação do feixe de 90° (perpendicular à superfície), foi selecionado por gerar alterações superficiais leves na superfície da zircônia, para realização do estudo de resistência mecânica. A irradiação foi realizada no modo de varredura focado à 1-2 mm da superfície em uma das faces dos CPs utilizando laser de Er:YAG (LiteTouch, Light Instruments, Israel), com ponta de safira AS7077X (0.8 mm de diâmetro, 8 mm de comprimento), área do feixe de 0,0028 cm², fluxo de água de 20 ml/min, tempo de irradiação de 30 segundos (15 segundos horizontal e 15 segundos vertical). A outra face (oposta e não irradiada) recebeu uma marcação para identificação.

2.2 Jateamento com partículas de óxido de alumínio

A superfícies de tratamento dos CPs foi inicialmente pintada com caneta permanente e, em seguida, jateada perpendicularmente com partículas de Al₂O₃ de 50 µm, a uma distância de 10 mm e com pressão de, aproximadamente, 2 bar, até a completa remoção da tinta. Após esse procedimento, os corpos

de prova foram limpos com jatos de ar-água e secos com papel absorvente e jatos de ar.

2.3 Teste de resistência à flexão biaxial

Os corpos de prova de cada grupo experimental foram posicionados no dispositivo de flexão biaxial (piston-on-three-balls) com a superfície tratada sob tração (voltada para as esferas da base), em máquina de ensaios universal (EMIC DL 2000, São José dos Pinhais, PR, Brasil) equipada com célula de carga de 2000N. A carga compressiva gradual (0,5mm/min) foi aplicada no centro do corpo de prova por meio de um pistão até a fratura e a carga máxima (N) foi registrada. A resistência à flexão biaxial dos corpos de prova foi calculada de acordo com a norma ISO 6872:2014, utilizando a equação que considera a carga, o diâmetro do disco, o diâmetro do anel formado pelas 3 esferas de suporte, o diâmetro das 3 esferas de suporte, o diâmetro da esfera de contato e a espessura da amostra. A equação é descrita como:

$$\sigma_{\max} = 3P \frac{(1 + \nu)}{4\pi t^2} \left[1 + 2\ln\left(\frac{a}{b}\right) + \left(\frac{1 - \nu}{1 + \nu}\right) \left(1 - \frac{b^2}{2a^2}\right) \left(\frac{a^2}{R^2}\right) \right]$$

Onde σ_{\max} = Tensão máxima

P = Carga de fratura (N)

t = Espessura do disco (mm)

a = Raio do círculo de suporte (mm)

b = Raio da esfera de carga (mm)

R = Raio do disco (mm)

v = Razão de Poisson

2.4 Análise estatística dos dados

Os dados de resistência à flexão biaxial dos grupos experimentais foram comparados por ANOVA um fator (tratamento de superfície) e Tukey, com significância de 5%.

3. RESULTADOS

A irradiação com laser de alta potência mostrou valores de resistência à flexão biaxial semelhantes ao tratamento convencional com jateamento, contudo, inferiores ao grupo controle (Tabela 3). A superfície cerâmica na região oposta ao contato com o pistão aplicador de carga, submetida à tração, foi identificada como origem das fraturas.

Tabela 3. Resultado da análise de comparação entre os dados de resistência à flexão biaxial dos grupos experimentais.

Grupo	N	Média (MPa)*	Desvio Padrão
Ctrl	30	265,8 A	112,1
Jat	30	172,7 B	73,2
Las	30	181,3 B	54,2

* Letras distintas mostram as diferenças entre as médias dos grupos experimentais ($p < 0.001$).

4. DISCUSSÃO

O aumento do conteúdo de fase cúbica e óxido de ítrio nas zircônias translúcidas resultou em um aumento significativo da translucidez do material, permitindo seu uso monolítico em regiões que demandam estética. Contudo, estas modificações de composição e microestrutura reduziram significativamente a resistência à flexão desses materiais. Porcentagens de ítria acima de 3,1% diminuí significativamente a resistência à flexão (Ruíz et al., 2022).

A adesão às zircônias translúcidas ainda são um desafio, pois os tratamentos de superfície convencionais, como o jateamento por partículas de alumina investigado no presente estudo, reduzem a resistência mecânica dessas zircônias pela formação de trincas e

defeitos significativos na superfície. O efeito de tenacificação sob tensão da zircônia translúcida também é reduzido, pois a transformação de cristais tetragonais para monocínicos é diminuída devido a uma alta quantidade de fase cúbica, contribuindo para o comprometimento da sua resistência mecânica (Kirmali et al., 2015; Kaiser et al., 2018; Inokoshi et al., 2020; Wang et al., 2020; Tzanakakis et al., 2020).

Portanto, o presente estudo investigou o efeito da irradiação com laser de Er:YAG na resistência à flexão biaxial da zircônia monolítica 5Y-PSZ. A hipótese nula do estudo foi rejeitada, pois a irradiação com laser diminuiu significativamente a resistência à flexão da zircônia. Esses achados corroboram com os resultados do estudo de Da Silva et al (2020), que mostraram que os tratamentos com irradiação com laser, diminuíram significativamente a resistência à flexão biaxial da zircônia.

A irradiação direta de uma superfície sólida com uma fonte de laser normalmente leva à absorção de energia. O efeito mais importante do laser é transformar a energia radiante em calor (o efeito termomecânico). A absorção de energia pelo material e o seu mecanismo de absorção são altamente dependentes das especificações do laser, como a energia e duração do pulso, comprimento de onda e a taxa de repetição, mas também, de forma significativa, dependem das características e da natureza da superfície do material como pigmentação e teor de água. Como a

zircônia é branca e não contém água, a retenção da energia do laser é um pouco difícil (Hatami et al., 2021). Para materiais cerâmicos, a absorção da luz do laser só é possível quando altas intensidades são aplicadas, dando origem a processos ópticos não lineares e absorção multifotônica (Tzanakakis et al., 2021). Na superfície de materiais de zircônia, alterações positivas na topografia da superfície foram reportadas em estudos prévios (Ulgey et al., 2021).

Um estudo prévio reportou os efeitos da irradiação à laser Er:YAG e do jateamento com alumina na rugosidade superficial e características morfológicas de zircônia policristalina tetragonal estabilizada com 3mol% de ítrio (3Y-TZP) e observaram que valores de energia de pulso entre 400 mJ e 600 mJ causou deterioração excessiva do material, não sendo indicados para tratamentos de superfície (Fornaini et al., 2021). Maior rugosidade superficial foi observada aumentando a potência de saída e o tempo de irradiação do laser, mas intensidades maiores de laser não são adequadas para tratamento devido a danos graves à superfície cerâmica e à transformação de fase. Estudos prévios também mostraram que valores altos de energia de irradiação do laser Er:YAG (acima de 400 mJ) provocam maior rugosidade superficial da zirconia, porém causam deformação na superfície da zircônia, incluindo defeitos causando alterações desfavoráveis às propriedades, e, portanto, opções de menor energia (~200 mJ)

devem ser utilizadas para tratamento de superfície (Hatami et al., 2021; Ulgey et al., 2021); Alsarani et al., 2023).

Os mesmos autores demonstraram que a irradiação com energia de pulso de 200 mJ resultou em alterações superficiais leves, com características intermediárias entre os efeitos do jateamento de partículas e intensidades mais altas do laser (Fornaini et al., 2021). De forma semelhante, os protocolos de irradiação com laser utilizados no presente estudo com energia de pulso de 200 mJ e frequência de 15Hz e o protocolo de 250mJ e frequência de 10Hz resultaram somente em alterações leves na superfície das zircônias. A inclinação do feixe de irradiação de 90° ou 45° não produziu diferença significativa da topografia da zircônia.

Além disso, a largura do pulso está diretamente associada à taxa de ablação, à capacidade de interagir com o substrato e aos efeitos térmicos. Quanto mais curto for o pulso, maior será a velocidade com que os pulsos atingem a superfície irradiada. Portanto, menos energia é convertida em calor, resultando em uma ablação mais eficiente e em menos danos térmicos à superfície cerâmica (Da Silva et al., 2020). Portanto, foi selecionado o protocolo de energia de superfície 250mJ e frequência de pulso de 10Hz para as investigações realizadas no estudo.

Num estudo, autores observaram rugosidade superficial semelhante entre superfícies de zircônia tratadas pelo laser

Er:YAG e superfícies tratadas com jateamento com partículas de óxido de alumínio. Em contrapartida, outros autores, no mesmo estudo, observaram que o laser Er:YAG não foi eficaz em superfícies de zircônia (Hatami et al., 2021).

No estudo de Da Silva et al. (2020), a irradiação com laser Er: YAG diminuiu os valores médios de resistência à flexão da zircônia. Blocos de zircônia parcialmente sinterizados (VITA In-Ceram YZ 40/19 para InLab; VITA Zahnfabrik), independente da intensidade do pulso, corroborando com os achados do presente estudo. Por outro lado, o mesmo tratamento após a sinterização aumentou os valores médios de resistência à flexão.

Num estudo realizado, as rugosidades superficiais dos materiais foram aumentadas após o jateamento. Embora diferentes topografias de superfície tenham sido observadas entre os grupos de jateamento e laser, não houve diferenças significativas entre eles. Isso confirma os resultados encontrados no nosso estudo. O jateamento causou uma superfície mais áspera com irregularidades. No entanto, os grupos de laser Er:YAG geraram áreas lisas semelhantes às dos grupos de controle. Outros autores também demonstraram que o método de jateamento proporcionou superfícies mais rugosas do que a irradiação com laser de Er:YAG (Cxağlar et al., 2016).

No presente estudo, os tratamentos da superfície de cimentação por irradiação com laser e jateamento de partículas

reduziram significativamente a resistência a flexão da zircônia translúcida. A resistência da zircônia pode ser aumentada com a cimentação adesiva aos substratos dentários ou outros materiais restauradores e, portanto, realizar a avaliação da longevidade de restaurações de zircônia cimentadas em condições semelhantes à bucal (fadiga mecânica cíclica) é importante para previsão do seu comportamento mecânico. Além disso, o efeito desses tratamentos na adesão aos cimentos resinosos deve ser investigado em futuros estudos.

5. CONCLUSÃO

Apesar de não provocar alteração significativa visível na superfície, a irradiação com laser Er: YAG mostrou ter efeito deletério sobre a resistência mecânica da zircônia translúcida (5Y-PSZ), de forma semelhante ao resultado do tratamento convencional de superfície realizado com jateamento com partículas de óxido de alumínio.

6. REFERÊNCIAS

ABDULSATAR, M. A.; HUSSEIN, B. M. A.; MAHMOOD, A. M. Effects of Different Laser Treatments on Some Properties of the Zirconia-Porcelain Interface. *J Lasers Med Sci* 2021; 12: e 2

AKAR, T.; DUNDAR, A.; KIRMALI, Ö.; ÜSTÜN, Ö.; KAPDAN, A.; ER, HAKAN, B.; KUSTARCIAS, A.; YILMAZ, B. Evaluation of The Shear Bond Strength of Zirconia to A Self-Adhesive Resin Cement After Different Surface Treatment. *Dent Med Probl.* 2021;58(4):463–472

ALSARANI, M. M.; ALSADON, O.; ALAGEEL, O.; ALFRISANY, N.; ALMUTAIRI, Z.; AL-GAWATI, M. A. ALMOZAINY, M. The Effect of Femtosecond Laser Surface Patterns on The Effectiveness of Resin Composite to Zirconia Bonding. *J. Funct. Biomater.* 2023, 14, 508.

ARAMI, S.; TABATABAE, M. H.; NAMDAR, S. F.; CHINIFORUSH, N. Effects of Different Lasers and Particle Abrasion on Surface Characteristics of Zirconia Ceramics. *Journal of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran* (2014; vol. 11, n. 2)

ARCILA, L. V. C.; RAMOS, N. C.; CAMPOS, T. M. B.; DAPIEVE, K. S.; VALANDRO, L. F.; DE MELLO, R. M.; BOTTINO, M. A. Mechanical Behavior and Microstructural

Characterization of Different Zirconia Polycrystals In Different Thicknesses. *J Adv Prosthodont* 2021; 13:385-95

BASSO, D. G. Effect of Sandblasting and Cement Layer on Fracture Strength of Zirconias with Different Microstructures. Dissertation presented to the Graduate Program in Dentistry of the Faculty of Dentistry of the UPF, to obtain the title of Master in Dentistry – Area of Concentration in Dental Clinic. University of Passo Fundo, UPF/RS, 2021.

BELO, Y. D.; SONZA, Q. N.; BORBA, M.; BONA, A. D. Yttria-stabilized tetragonal zirconia: mechanical behavior, adhesion, and clinical longevity. *Ceramics* 59 (2013) 633-639

BISPO, L. B. Dental Ceramics: Advantages and Limitations of Zirconia. *Rev. Bras. Odontol.* vol.72 no.1-2 Rio de Janeiro Jan./jun. 2015

BITENCOURT, S. B.; FERREIRA, L. C.; MAZZA, L. C.; DOS SANTOS, D. M.; PESQUEIRA, A. A.; THEODORO, L. H. Effect of Laser Irradiation on Bond Strength Between Zirconia and Resin

Cement or Veneer Ceramic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Indian Prosthodontic Society* | Volume 21 | Issue 2 | April-June 2021

CARRERA, E. R.; CESAR, P. F.; ENRIQUES, B.; FREDEL, M. C.; ÖZCAN, M.; VOLPATO, C. A. M. Adhesion Behavior of Conventional and High-Translucent Zirconia: Effect of Surface Conditioning Methods and Aging Using an Experimental Methodology. *J Esthet Restor Dent.* 2019;1–10

CXAĞLAR, I.; YANIKOĞLU, N. The Effect of Sandblasting, Er: YAG Laser, and Heat Treatment on the Mechanical Properties of Different Zirconia Cores. *Photomedicine and Laser Surgery* Volume 34, Number 1, 2016.

DA SILVA, B. T. F.; TREVELIN, L. T.; WILLERS, A. E.; CÉSAR, P. F.; MATOS, A. B. Effect of Silica Coating and Laser Treatment on The Flexural Strength, Surface Characteristics, And Bond Strength of a Dental Zircônia. *J Oral Sci.* 2021;129: e12754.

FORMAINI, C.; POLI, F.; MERIGO, E.; LUTEY, A.; CUCINOTTA, A.; CHEVALIER, M.; MCKEE, S.; BRULAT, N.; ROCCA, J. P.; TREVISI, G. Nanosecond Pulsed Fiber Laser Irradiation for Enhanced Zirconia Crown Adhesion: Morphological, Chemical, Thermal and Mechanical Analysis. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology* 219 (2021)

GARAYOA, E. C.; PELUMAEZ, J.; TOBAR, C.; RODREUGUEZ, V.; SUUMAREZ, M. J. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Surface Pretreatments and Resin Cements. *Materials* 2021,14,2751

HATAMI M, LOTFI-KAMRAN M, DAVARI A, MOLAZEM M. Effect of Different Laser Treatments On The Shear Bond Strength Of Zirconia Ceramic To Resin Cement. *Dent Res J* 2021; 18:56.

INOKOSHI, M.; SHIMIZUBATAA, M.; NOZAKIB, K.; TAKAGAKIC, T.; YOSHIHARAD, K.; MINAKUCHIA, S.; VLEUGELSF, J.; MEERBEEKG, B. V.; ZHANG, F. Impact of sandblasting on the flexural strength of highly translucent zirconia. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 115 (2021).

JOUKHADAR, C.; OSMAN, E.; RAYYAN, M.; SHREBATY, M. Comparison between different surface treatment methods on shear bond strength of zirconia (in vitro study). *J Clin Exp Dent*. 2020;12(3): e264-70

KIRMALI, O.; KUSTARCI, A.; KAPDAN, A. Surface roughness and morphologic changes of zirconia: Effect of different surface treatment. *Journal of Clinical Practice*, 2015, vol. 18

KABIRI S, NESHATI A, ROHANI B. Effect of Different Surface Treatments and Pressure Conditions on Shear Bond Strength of Zirconia Ceramic to Composite Resin. *Front Dent*. 2021; 18:26.

KAIZER, S.; ZHAO, M.; GUO, B.; ZHANG, Y. Graduated ultra-translucent zirconia (5Y-PSZ) for strength and functionalities. *Journal of Dental Research*. 2018, Vol. 97(11) 1222-1228

KASRAEI, S.; SOUFI, L. R.; HEIDARI, B.; VAFAEE, F. Bond strength of resin cement to CO₂ and Er:YAG laser treated zirconia ceramic. *Restorative Dentistry end Endodontic*. 2014. 39. 4. 296

KUNT, G. E.; DURAN, I. Effects of laser treatments on surface roughness of zirconium oxide ceramics. *BMC Saúde Bucal* (2018) 18: 222

LIU, L.; LIU, S.; XIAOMENG, M.; ZHU, Q.; ZHANG, W. Effect of Nd: YAG laser irradiation on surface properties and bond strength of zirconia ceramics. *Lasers Med Sci* (2015) 30:627–634

MAO, L.; KAIZER, M. R.; ZHAO, M.; GUO, B.; SONG, Y. F.; ZHANG, Y. Graded Ultra-Translucent Zirconia (5Y-PSZ) for Strength and Functionalities. *Journal of Dental Research* 1–7, International & American Associations for Dental Research 2018

MACIEL, L. C.; AMARAL, M.; QUEIROZ, D. A.; BAROUDI, K.; CONCILIO, L. R. S. The Effect of Repeated Surface Treatment of Zirconia on Its Bond Strength to Resin Cement. *J Adv Prosthodont*, 2020; 12:291-8

McLAREN, E. A.; MAHARISHI, A.; WHITE, S. W. Influence of yttria content and surface treatment on the strength of translucent

zirconia materials. The journal of prosthetic dentistry chicago, il,
february 21, 2019

MEŠIĆ, K.; MAJNARIĆ, I.; OBHOĐAŠ, J. BARŠIĆ. G.;
MEHULIĆ, K. The Effect of Aging on Composition and Surface
of Translucent Zirconia Ceramic. Acta stomatol Croat.
2020;54(4):339-352.

MORETTO, S. G.; DE FREITAS, P. M.; INCA, H. E. C.; CESAR,
P. F.; SILVA, M. S. B.; EDUARDO, C. P. Influence of Er:YAG
laser surface treatment on flexural and bond strengths to glass-
infiltrated zirconia-reinforced ceramic. Lasers in Medical Science
(2021) 36:1487–1495

MOSHARRAF, R.; RISMANCHIAN, M.; SAVABI, O.;
ASHTIANI, A. H. Influence of Surface Modification Techniques
on Shear Strength Between Different Zirconia and Coating
Ceramic Cores. J Adv Prosthodont 2011

OTTONI, R.; BORBA, M. Mechanical and Clinical Behavior of Zirconia-Based Monolithic Prostheses: Literature Review. *Cerâmica* 64 (2018)

RUÍZ, M. F. S.; CODERCH, A. R.; EMPRESA, J. M. M.; BADAL, C. F.; SOLÁ, B. V.; PANADERO, A. A. Influence of the chemical composition of monolithic zirconia on its optical and mechanical properties. Systematic review and meta regression. *J Prosthodont Res.* 2022; 66(2): 193–207

RUJA, M. A.; DE SOUZA, G. M.; FINER, Y. Ultrashort-pulse laser as a surface treatment for bonding between zirconia and resin cement. *Materiais Dentários*, 12, 2019.

SARAN R.; GINJUPALLI, K.; GEORGE, S. D.; CHIDANGIL, S.; UNNIKRIISHNAN, V. K. Laser as A Tool for Surface Modification of Dental Biomaterials - A Review. *Heliyon* 9 (2023) e17457

SAADE, J.; SKIENHE, H. OUNSI, H.; MATINLINNA, J. P.; SALAMEH, Z. Effect of different combinations of surface

treatment on adhesion of resin composite to zirconia. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry* 2019;11 119–129

TZANAKAKIS, E.; KONTONASAKI, E.; VOYIATZIS, G.; ANDRIKOPOULOS, K. TZOUTZAS, I. Surface Characterization of Monolithic Zirconia Submitted to Different Surface Treatments Applying Optical Interferometry and Raman Spectrometry. *Dental Materials Journal* 2020; 39(1): 111–117

TOKAR, E.; POLAT, S.; OZTURK, C. Repair bond strength of composite to Er,Cr:YSGG laser irradiated zirconia and porcelain surfaces. *biomedical journal* 42 (2019) 193 e199

TOYODA, K.; TANIGUCHI, Y.; NAKAMURA, K.; ISSHI, K.; KAKURA, K.; IKEDA, H.; SHIMIZU, H.; KIDO, H.; KAWAGUCHI, T. Effects of ytterbium laser surface treatment on the bonding of two resin cements to zirconia. *Dental Materials Journal* 2022; 41(1): 45–53

TUNCEL, I.; TURP, I.; ÜSUMEZ, A. Evaluation of translucency of monolithic zirconia and framework zirconia materials. *J Adv Prosthodont* 2016; 8:181-6

YUE, X.; HOU, X.; GAO, J.; BAO, P.; SHEN, J. Effects of MDP-based primers on shear bond strength between resin cement and zirconia. *Experimental and therapeutic medicine* 17: 3564-3572, 2019

ULGEY, M.; GORLER, O.; GUNDUZ, C. K. Effects of Laser Modalities on the Shear Bonding Forces of the composite superstructure to zirconia and PEEK infrastructures: an in vitro study. *The Society of The Nippon Dental University* 2021.

ZHANG, Y.; LAWN, BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *Journal of Dental Research*, vol. 97(2) 140-147, 2018.

ZHANG, X.; DONG, H.; WU, X.; ZHAO, J.; JIANG, O. Evaluation of Er:YAG laser energy transmitted through novel dental zirconia ceramics. *Dental Materials Journal* 2023; 42(5): 669–675

ARTIGO II

**RESISTÊNCIA ADESIVA À ZIRCÔNIA TRANSLÚCIDA 5
Y-TZP, APÓS IRRADIAÇÃO COM LASER DE ALTA
POTÊNCIA – ER: YAG**

¹ Diana Ghiggi Basso

² Paula Benetti

³ Leonardo Saraiva

⁴ Patrícia Moreira de Freitas Costa e Silva

¹ Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil.

² Advisor Professor, Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil

³ Graduate Program in Dentistry, School of Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil.

⁴ Full Professor at the Faculty of Dentistry – USP; Co-responsible for the Special Laboratory of Laser in Dentistry (LELO); Specialist in Operative Dentistry/HOF.

RESUMO

Objetivo: avaliar o efeito da irradiação com laser de alta potência de zircônias policristalinas parcialmente estabilizadas com 5mol% de ítria (5Y-PSZ) na resistência adesiva ao cimento resinoso. **Materiais e métodos:** Amostras de zircônia (N=30) em formato de disco (0,7mm de espessura x 12 mm de diâmetro) foram confeccionadas e divididas aleatoriamente em 03 grupos experimentais (n=10) conforme o tratamento de superfície: sem tratamento (Contr), jateamento com partículas de óxido de alumínio (Jat) e irradiação com laser de Er:YAG (Las). Cilindros de resina composta (Fill Magic- Vigodent) de 2 mm de diâmetro e 5 mm de altura foram confeccionados e cimentados na superfície tratada das amostras de zircônia (n=10) utilizando o cimento resinoso Panavia F2.0. Os corpos de prova foram submetidos ao teste de micro cisalhamento em máquina de ensaios universal (EMIC DL 2000, São José dos Pinhais, PR, Brasil) com a aplicação de carga compressiva (0,5 mm/min) na região da interface até a fratura. A carga máxima de fratura foi registrada (N). As superfícies de fratura foram analisadas em microscopia óptica para classificação do modo de falha em: adesivo, coesivo em resina ou misto. A resistência adesiva (MPa) foi calculada e os dados foram analisados por ANOVA e Tukey (5%). **Resultados:** O jateamento e a irradiação com laser de alta potência mostraram ter influência

negativa na resistência adesiva da zircônia 5Y em comparação com o grupo controle, mas não diferiram entre si. **Conclusão:** A irradiação com laser resultou em resistência de união ao micro cisalhamento semelhantes à zircônia não tratada, porém não inferior ao jateamento com partículas de alumina.

Palavras-chave: Teste de micro cisalhamento; Jateamento; Laser; Zircônia.

1. INTRODUÇÃO

A microestrutura e as propriedades intrínsecas da zircônia parcialmente estabilizada com ítria altamente translúcida (5Y-PSZ) foram estudadas. A composição da fase e as propriedades mecânicas (principalmente resistência e tenacidade) da zircônia altamente translúcida de nova geração são diferentes daquelas da zircônia convencional, a qual é categorizada como policristal de zircônia tetragonal estabilizada com 3 mol% de ítria (3Y-TZP), enquanto a zircônia altamente translúcida geralmente contém uma quantidade significativamente maior de ítria ($\geq 4\%$ em mol junto com uma quantidade maior de ZrO_2 (Inokoshi et al., 2021).

Portanto, as zircônias ultra translúcidas apresentam resistência mecânica e estética adequadas às reabilitações em dentes anteriores. Contudo, a adesão às zircônias requer métodos

de tratamento de superfície diferentes daqueles adotados com vitrocerâmicas, pois sua microestrutura policristalina e grande estabilidade química requer métodos físicos de asperização de superfície para o estabelecimento de uma ligação química ou mecânica durável (Joukhadar et al., 2020).

O potencial de adesão química da zircônia é baixo devido à inércia de sua superfície apolar, o que dificulta sua ligação aos agentes de cimentação (Ruja et al., 2019; Russo et al., 2019; Yue et al., 2019; Valente et al., 2020; Khanlar et al., 2021; Shen et al., 2023). O uso de agentes de ligação (primers ou silanos) ou cimentos contendo monômeros fosfatados, como o 10-MDP, aumentam a resistência adesiva das zircônias devido à ligação dos grupos esterase dos monômeros aos óxidos metálicos da zircônia (Omidi et al., 2018; Yue et al., 2019; Russo et al., 2019; Joukhadar et al., 2020; Valente & Traini, 2020).

Alguns protocolos para tratamento de superfície tem sido propostos para melhorar a adesão entre as zircônias e os cimentos resinosos, como o jateamento com partículas de óxido de alumínio, revestidas ou não por sílica (silanização), infiltração de sílica, deposição superficial de nanopartículas de vidro, e irradiação com laser (Lopes et al., 2021). O jateamento de partículas de alumina de 50–110 μm é um dos métodos frequentemente empregados para promover o intertravamento micro mecânico com os agentes de cimentação. No entanto, o impacto das partículas rígidas sobre a

zircônia pode introduzir defeitos superficiais como falhas, deformação plástica e micro trincas, que podem comprometer a integridade mecânica (Russo et al., 2019; Saade et al., 2020, Khanlar et al., 2021). Além disso, o potencial do aumento de tenacidade por transformação da fase tetragonal para monoclinica em resposta à tensão provocada pelo jateamento (tenacificação) é reduzido nas zircônias 4YPSZ e 5YPSZ, pelo alto conteúdo de fase cúbica, que não sofre transformação, o que pode contribuir para diminuição da resistência à fratura desses materiais.

O uso de lasers de alta intensidade tem sido proposto para tratamento de superfície de cerâmicas a fim de melhorar as propriedades de união aos agentes de cimentação resinosos (Shimoe et al., 2020; Saran et al., 2023). O laser de granada de ítrio-alumínio dopada com érbio (Er:YAG) tem sido estudado para condicionar superfícies cerâmicas antes da cimentação, mostrando potencialidade para aumentar a rugosidade da superfície, a molhabilidade e o adesão ao cimento resinoso (Kumar et al., 2023).

Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito da irradiação com laser Er:YAG da superfície da zircônia policristalina parcialmente estabilizada com 5mol % e ítria (5Y-PSZ) na resistência adesiva ao cimento resinoso. A hipótese testada é de que a irradiação com laser Er:YAG aumenta a resistência adesiva da zircônia ao cimento resinoso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 mostra a descrição dos materiais utilizados no estudo. O bloco de zircônia 5Y-PSZ foi usinado em torno e seccionados em cortadeira metalográfica (LCD 12 00 RPM – Biopdi) antes da sinterização, obtendo-se amostras (N=30) em formato de disco (1,10 de espessura x 14,8 mm de diâmetro). Os corpos de prova foram regularizados com lixas d'água (#1000), limpos em banho sônico em água destilada por 5 min e secos em estufa à 37°C. A sinterização foi realizada seguindo a recomendação do fabricante. As amostras foram medidas com paquímetro digital (ABS absolute digimatic, Mitutoyo) para checagem das dimensões requisitadas para o estudo (0.7 mm de espessura x 12 mm de diâmetro).

Tabela 1: Descrição dos materiais utilizados no estudo.

Materiais	Descrição	Composição Química
Ceramill Zolid FX – White (Amann)	Zircônia de translucidez superelevada de 4ª geração (5Y- PSZ)	ZrO_2 , HfO_2 , Y_2O_3 , Y_2O_3 $Y_2O_3 \geq 9,15 - 9,00 \%$ $HfO_2: \leq 5$ $Al_2O_3: \leq 0,5$
Partículas de Óxido de Alumínio	Abrasivo	Óxido de alumínio (Al_2O_3) com tamanho

				médio de partículas de 50µm
(Panavia F 2.0 – Kuraray Noritake Dental Tóquio, Japão).	Dual	contendo MDP	PANAVIA F 2.0 Paste (A Paste / B Paste): TC, Light, White ou Opaque PANAVIA F 2.0 ED PRIMER II (Liquid A / Liquid B) PANAVIA F 2.0 OXYGUARD II	
Fill (Vigodent)	Magic	Resina composta fotopolimerizável	Bis-GMA; Bis-EMA; UDMA; TEGMA; fotoiniciador, carga e pigmentos.	

As amostras foram divididas nos três grupos experimentais (n=10): sem tratamento (Ctrl); jateamento com partículas de Al₂O₃ (Jat) e irradiação com laser de alta potência Er: (YAG) (Las).

2.1 Protocolo de irradiação com laser Er: (YAG)

A irradiação laser foi realizada utilizando laser Er:YAG (Fidelis III; Fotona) (comprimento de onda = 2.940 nm). A peça de mão R02-C com fibra óptica cilíndrica de safira (AS7069X 0,8 x

17 mm de diâmetro). O protocolo foi configurado com energia de irradiação de 250mJ; taxa de repetição de 10 Hz; potência de 2.5 W; densidade de energia de 89,28 J/cm²; e inclinação do feixe de 90° (perpendicular à superfície). Este protocolo foi selecionado em estudo piloto com base em Moretto et al (2020) por gerar alterações superficiais leves na superfície da zircônia.

A irradiação foi realizada no modo de varredura focado à 1-2 mm da superfície em uma das faces das amostras utilizando laser de Er:YAG (LiteTouch, Light Instruments, Israel), com ponta de safira AS7077X (0.8 mm de diâmetro, 8 mm de comprimento), área do feixe de 0,0028 cm², fluxo de água de 20 ml/min, tempo de irradiação de 30 segundos (15 segundos horizontal e 15 segundos vertical). A superfície cerâmica foi irradiada simultaneamente com irrigação com água. A outra face (oposta e não irradiada) recebeu uma remarcação para identificação.

Após a irradiação, as amostras (n=10) foram inspecionadas sob microscopia óptica e as que apresentaram alterações significativas de superfície e presença de defeitos como trincas após irradiação foram descartados.

2.2 Jateamento com partículas de óxido de alumínio

O lado das amostras de zircônia a ser tratado foi marcado com caneta permanente e, em seguida, jateado com partículas de Al₂O₃

de 50 μm , perpendicularmente, a uma distância de 10 mm e com pressão de, aproximadamente, 2 bar. Após, as amostras (n=10) foram limpas com jatos de ar-água e secas com papel absorvente e jatos de ar.

2.3 Obtenção dos corpos de prova para teste de resistência adesiva ao micro cisalhamento

Cilindros de resina composta (Resina Fill Magic – Vigodent) foram obtidos condensando incrementos do material no interior de uma matriz metálica bipartida com dimensões internas de 2mm de diâmetro e 5 mm de altura. Os cilindros de resina foram cimentados no centro da superfície tratada das amostras de zircônia utilizando um cimento resinoso contendo MDP (Panavia F 2.0 – Kuraray Noritake Dental Tóquio, Japão). Uma carga digital (750g) foi posicionada sobre o conjunto para padronização da espessura da camada e o excesso do cimento foi removido com auxílio de microbrush para controle da área de interface adesiva. Por fim, foi realizada a fotoativação do cimento por 60 segundos com unidade polimerizadora LED (Emitter. G, intensidade de luz 1250 mw/cm^2).

2.4 Teste de resistência adesiva – micro cisalhamento – μSBS

Os corpos de prova de cada grupo (n=10) incluídos em anéis de polivinil (PVC) de 10mm de altura e 15 mm de diâmetro com resina acrílica incolor quimicamente ativada. O conjunto foi disposto em um dispositivo para teste de cisalhamento de forma que lâmina aplicadora de carga fosse posicionada paralelamente à interface.

O dispositivo foi acoplado à máquina de ensaio universal (Instron 23-10, série 2310P-0008, São José dos Pinhais, PR, Brasil, equipada com célula de carga de 2000 kgf, e a carga compressiva foi aplicada à interface adesiva com velocidade de deslocamento de 0,5 mm/min e até a fratura. A resistência adesiva ao micro cisalhamento (σ_s) foi calculada (MPa) dividindo-se a carga máxima de fratura registrada em Newtons (N) pela área da interface adesiva (A, em mm). As superfícies de fratura foram analisadas em microscopia óptica para classificação do modo de falha em adesivo (completo destacamento da resina da superfície da zircônia), coesivo na resina e misto (presença de resquícios de resina sobre a superfície da zircônia).

2.5 Análise estatística

Os dados de σ_s dos grupos experimentais foram comparados por ANOVA um fator e Tukey, com significância de 5%.

3. RESULTADOS

A irradiação com laser Er:YAG mostrou resultado de resistência adesiva da zircônia 5Y-PSZ semelhante ao grupo submetido ao jateamento com partículas de óxido de alumínio e ao grupo controle (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado da análise de comparação entre os dados de resistência adesiva dos grupos experimentais.

Grupo	N	σ_s (MPa)*	Desvio Padrão
Ctrl	10	6.8 B	3.8
Jat	10	12.8 A	5.5
Las	10	8 AB	4.5

* Letras distintas mostram as diferenças entre as médias dos grupos experimentais ($p < 0.001$).

4. DISCUSSÃO

Irradiações com laser são métodos alternativos para melhorar a adesão de cerâmicas reforçadas, como as zircônias, com cimentos resinosos. O condicionamento a laser consiste em irradiar a superfície da cerâmica com um laser de alta potência, a fim de

modificar a superfície da cerâmica e aumentar a resistência de união entre ela e o cimento resinoso (Tzanakakis et al., 2021). Um fator significativo é que a cerâmica de alta resistência não absorve efetivamente certos comprimentos de onda. As tensões geradas pela mudança de temperatura explicam as trincas da superfície cerâmica, contudo, o protocolo utilizado neste estudo não produziu defeitos significativos na superfície da zircônia. A alteração da microestrutura da superfície cerâmica é a base para afetar a propriedade de adesão pelo laser Er:YAG, e a premissa de melhorar as propriedades de adesão é que o pré-tratamento a laser não causa danos à estrutura da superfície cerâmica. Durante a irradiação a laser, uma camada de filme de água é formada na superfície cerâmica através do dispositivo de pulverização de água da máquina. Quando o laser Er:YAG atinge uma certa energia, a alta temperatura ou pressão instantânea destruirá o cristal e a matriz cerâmica locais, que podem formar pites espalhados na superfície da cerâmica, alterar a retenção mecânica da cerâmica, afetar a forma de ligação física da restauração cerâmica entre adesivo e tecido dentário, e, em seguida, afetar o efeito de ligação da restauração.

Apesar disso, os valores de adesão obtidos pela irradiação com laser assemelharam-se também aos do grupo submetido ao jateamento, o que mostra ser promissora a investigação desse método de tratamento de zircônia para uso Odontológico. Estudo

prévio mostrou que o jateamento promoveu resistência de união maior do que o tratamento por irradiação com Er:YAG, diferindo dos achados do presente estudo (Kabiri et al., 2021). A irradiação com laser, associado com o cimento resinoso contendo MDP, foi capaz de promover uma união intermediária entre o grupo controle e o jateamento de partículas, concordando com o estudos prévios (Bitencourt et al., 2021; Ulgey et al., 2021; Hatami et al., 2021) que relataram um aumento nos valores de resistência de união usando laser. Hatami et al (2021) usaram irradiação de laser Er:YAG com potência de 2 W (200 mJ/pulso, 10 Hz) por 10 segundos e, nas imagens SEM, encontraram uma superfície rugosa semelhante ao jateamento com óxido de alumina. Porém, os autores concluíram que este laser promoveu valores de resistência de união inferiores quando comparado ao grupo jateado, diferente do presente estudo, enquanto valores superiores foram encontrados quando comparado ao grupo controle. Informação semelhante foi descrita em outro estudo (Bitencourt et al., 2021), que utilizou laser com potência de 200 mJ/pulso, 10 Hz, por 5 segundos. O grupo irradiado apresentou os menores valores de resistência de união, mesmo quando comparado ao grupo controle, o que também difere do nosso estudo. Considerando que outros estudos demonstraram que, em comparação com os métodos convencionais de tratamento de superfície de zircônia, o pré-tratamento a laser não foi eficiente para aumentar a resistência de união ou mesmo diminuí-la (Kasraei

et al., 2014; Cxağlar et al., 2016; Tokar et al., 2019; Joukhadar et al., 2020; Ulgey et al., 2021). A diferença de resultados entre os estudos pode ser explicada pelas diferentes configurações de irradiação como energia, taxa de frequência e densidade de energia, que tem grande impacto nos resultados obtidos pela irradiação.

Autores investigaram a possibilidade de usar irradiação laser Er:YAG em diferentes energias de pulso (100, 200, 300, 400 ou 600 mJ) e tempos de irradiação (5, 10 ou 15 s) para melhorar a ligação da cerâmica de zircônia ao cimento resinoso (Fornaini et al., 2021; Russo et al (2019). Segundo a aplicação de laser com intensidade de energia de 400 ou 600 mJ está associada à deterioração do material, enquanto que, com valores menores (200 mJ), não se obtém adesão satisfatória. Segundo Joukhadar et al (2020), mostraram que o Er:YAG pode ser benéfico também com potência de 2 W e energia de pulso de 200 mJ. Além disso, foi relatado anteriormente que prolongar o tempo de irradiação além de aumentar a potência de irradiação não aumenta a resistência de adesão da cerâmica e causa defeitos no material (Akar et al., 2021).

Em outro estudo foi observado que a intensidade de 200 mJ da energia do laser Er:YAG era mais confiável para a cerâmica de zircônia entre as intensidades de 400 e 600 mJ. No entanto, outros autores, dentro desse estudo, relataram que a energia do laser Er:YAG de 400 e 600 mJ causou algumas trincas profundas na superfície da zircônia e perda extrema de massa. Outro estudo

indicou que a intensidade de energia de 200 mJ causou algumas trincas na superfície da zircônia. Outros autores sugeriram que a energia do laser Er:YAG de 400 mJ alterou as propriedades da superfície da cerâmica de zircônia. Outro autor observou que 150 mJ de energia Er:YAG por 20 s aumentou a rugosidade da zircônia (Cxağlar et al., 2016).

Num outro estudo, os resultados mostraram que todos os lasers aumentaram os valores de SBS da zircônia ao cimento resinoso em comparação à superfície não tratada. O laser Er:YAG foi o tratamento a laser mais eficaz na resistência de união igual à do jato de areia (Hatami et al., 2021). Nesse estudo, as imagens revelaram que o jateamento com óxido de alumina e a irradiação do laser Er:YAG produziram superfícies mais ásperas e mais irregularidades. Estas descobertas estão de acordo com um estudo, onde mostrou-se que a irradiação do laser Er:YAG a 2 W pode criar uma superfície rugosa semelhante à da abrasão a ar (Hatami et al., 2021).

Os modos de falha foram definidos como coesivos (fratura da resina), adesivos (na interface cimento/Y-TZP) ou mistos (uma combinação de coesivo e adesivo) (Valente & Traini, 2020). Foi relatado que o modo de falha coesiva é preferível ao modo de falha adesiva total, uma vez que o modo de falha coesiva está associado a uma resistência de ligação mais elevada do que a do material/materiais (Le et al., 2019).

O tratamento mecânico da zircônia com jateamento com alumina e irradiação laser, aumentou a transformação da fase m. Para os corpos de prova tratados com abrasão por partículas de alumina, foi observada falha adesiva na maioria dos corpos de prova descolados. Alguns tipos de tratamento mecânico (abrasão por partículas transportadas pelo ar, irradiação laser, etc.) podem danificar a superfície da zircônia, aumentando o conteúdo da fase m. Acredita-se que a abrasão por partículas transportadas pelo ar gera tensão na superfície da zircônia pré-sinterizada e aumenta o conteúdo da fase m (Akar et al., 2021).

O modo de fratura controlado por diferentes tratamentos indica que o jateamento e o tratamento com silano levam à formação de uma estrutura de micro retenção e favorecem a ligação química na interface para alta resistência de ligação (Li et al., 2020).

O protocolo mais utilizado aumentar a rugosidade superficial e a área adesiva visando melhor adesão das zircônias policristalinas aos cimentos resinosos é o jateamento de partículas de óxido de alumínio em diferentes configurações (tamanhos de partículas, pressão de jateamento, revestimento das partículas por sílica) (Khanlar et al., 2021). No entanto, impacto das partículas rígidas sobre as zircônias ultra-translúcidas, como a 5Y-PSZ (3ª geração), tem o potencial de reduzir sua resistência mecânica pela introdução de defeitos ou trincas e pelo reduzido fenômeno de

tenacificação em comparação com zircônias com maior conteúdo de fase tetragonal (3Y-TZP de 1ª e 2ª gerações). O uso do laser Er:YAG foi investigado no presente estudo como método alternativo de tratamento de superfície. Portanto, a resistência adesiva da zircônia 5Y-PSZ após tratamento de superfície com laser de alta potência (Er: YAG) foi avaliada, constatando-se semelhança aos valores de σ_s ao grupo controle rejeitando a hipótese do estudo (Kumar et al., 2023).

Os resultados do presente estudo mostram que a resistência de união foi significativamente aumentada pelo jateamento de partículas de alumina de 50 μm , concordando com a informação presente na literatura (Le et al. 2019, Yue et al., 2019, Akar et al., 2021, Tzanakakis et al., 2021, Shen et al., 2023). A rugosidade promovida pelo jateamento aumentou a energia superficial, resultando em melhor molhabilidade da superfície cerâmica pelo agente cimentante e em maior valor de resistência adesiva em comparação ao grupo controle. O uso de partículas maiores e pressão mais elevada é deletério para zircônia por resultar em abrasão excessiva, elevada tensão mecânica e introduzir defeitos significativos na superfície que podem diminuir a resistência da zircônia, resultando na falha de união (Khanlar et al. 2021). Embora a técnica de jateamento de partículas de alumina possa ser agressiva às zircônias ultra translúcidas, ainda é considerada eficaz

para obtenção de união adequada aos cimentos resinosos (Carrera et al., 2019; Li et al., 2020; Da Silva et al., 2020).

Além do tratamento mecânico da superfície da zircônia, estudos prévios indicam a utilização de agentes de união contendo MDP para união química, adjuvante do processo adesivo (Yue et al., 2019; Li et al., 2020; Khanlari et al., 2021; Shen et al., 2023). O agente de cimentação escolhido para o presente estudo foi o Panavia F 2.0 contendo MDP. Está bem documentado e tem demonstrado maior resistência de união às cerâmicas em comparação com outros cimentos adesivos (Le et al., 2019; Toyoda et al., 2022). Esse cimento melhora a ligação entre a zircônia e o cimento resinoso, apresentando alta estabilidade de ligação.

Em um estudo onde as superfícies de zircônia foram tratadas com laser de pulso ultracurto e mediu a resistência de união entre o cimento resinoso composto e as superfícies de zircônia, eles descobriram que essa resistência de ligação após o tratamento de superfície a laser era aproximadamente 35% maior do que após o jateamento de alumina (Toyoda et al., 2022).

5. CONCLUSÃO

A irradiação com laser resultou em resistência de união ao micro cisalhamento semelhantes à zircônia não tratada, porém não inferior ao jateamento com partículas de alumina.

6. REFERÊNCIAS

ABDULSATAR, M. A.; HUSSEIN, B. M. A.; MAHMOOD, A. M. Effects of Different Laser Treatments on Some Properties of the Zirconia-Porcelain Interface. *J Lasers Med Sci* 2021; 12: e 2

AKAR, T.; DUNDAR, A.; KIRMALI, Ö.; ÜSTÜN, Ö.; KAPDAN, A.; ER, HAKAN, B.; KUSTARCIAS, A.; YILMAZ, B. Evaluation of The Shear Bond Strength of Zirconia to A Self-Adhesive Resin Cement After Different Surface Treatment. *Dent Med Probl.* 2021;58(4):463–472

ALSARANI, M. M.; ALSADON, O.; ALAGEEL, O.; ALFRISANY, N.; ALMUTAIRI, Z.; AL-GAWATI, M. A. ALMOZAINY, M. The Effect of Femtosecond Laser Surface Patterns on The Effectiveness of Resin Composite to Zirconia Bonding. *J. Funct. Biomater.* 2023, 14, 508.

ARAMI, S.; TABATABAE, M. H.; NAMDAR, S. F.; CHINIFORUSH, N. Effects of Different Lasers and Particle Abrasion on Surface Characteristics of Zirconia Ceramics. *Journal of Dentistry*, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran (2014; vol. 11, n. 2)

ARCILA, L. V. C.; RAMOS, N. C.; CAMPOS, T. M. B.; DAPIEVE, K. S.; VALANDRO, L. F.; DE MELLO, R. M.; BOTTINO, M. A. Mechanical Behavior and Microstructural Characterization of Different Zirconia Polycrystals In Different Thicknesses. *J Adv Prosthodont* 2021; 13:385-95

BASSO, D. G. Effect of Sandblasting and Cement Layer on Fracture Strength of Zirconias with Different Microstructures. Dissertation presented to the Graduate Program in Dentistry of the Faculty of Dentistry of the UPF, to obtain the title of Master in Dentistry – Area of Concentration in Dental Clinic. University of Passo Fundo, UPF/RS, 2021.

BELO, Y. D.; SONZA, Q. N.; BORBA, M.; BONA, A. D. Yttria-stabilized tetragonal zirconia: mechanical behavior, adhesion, and clinical longevity. *Ceramics* 59 (2013) 633-639

BISPO, L. B. Dental Ceramics: Advantages and Limitations of Zirconia. *Rev. Bras. Odontol.* vol.72 no.1-2 Rio de Janeiro Jan./jun. 2015

BITENCOURT, S. B.; FERREIRA, L. C.; MAZZA, L. C.; DOS SANTOS, D. M.; PESQUEIRA, A. A.; THEODORO, L. H. Effect of laser irradiation on bond strength between zirconia and resin cement or veneer ceramic: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 2021

CARRERA, E. R.; CESAR, P. F.; ENRIQUES, B.; FREDEL, M. C.; ÖZCAN, M.; VOLPATO, C. A. M. Adhesion Behavior of Conventional and High-Translucent Zirconia: Effect of Surface Conditioning Methods and Aging Using an Experimental Methodology. *J Esthet Restor Dent.* 2019;1–10

CXAĞLAR, I.; YANIKOĞLU, N. The Effect of Sandblasting, Er: YAG Laser, and Heat Treatment on the Mechanical Properties of Different Zirconia Cores. *Photomedicine and Laser Surgery* Volume 34, Number 1, 2016.

DA SILVA, B. T. F.; TREVELIN, L. T.; WILLERS, A. E.; CÉSAR, P. F.; MATOS, A. B. Effect of Silica Coating and Laser

Treatment on The Flexural Strength, Surface Characteristics, And Bond Strength of a Dental Zircônia. J Oral Sci. 2021;129: e12754.

FORMAINI, C.; POLI, F.; MERIGO, E.; LUTEY, A.; CUCINOTTA, A.; CHEVALIER, M.; MCKEE, S.; BRULAT, N.; ROCCA, J. P.; TREVISI, G. Nanosecond Pulsed Fiber Laser Irradiation for Enhanced Zirconia Crown Adhesion: Morphological, Chemical, Thermal and Mechanical Analysis. Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology 219 (2021)

GARAYOA, E. C.; PELUMAEZ, J.; TOBAR, C.; RODRIGUEZ, V.; SUUMAREZ, M. J. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Surface Pretreatments and Resin Cements. Materials 2021,14,2751

GHASEMI, A.; KERMANSHAH, H.; GHAVAM, M.; NATEGHIFARD, A.; TORABZADEH, H.; NATEGHIFARD, A.; ZOLFAGHARNASAB, K.; AHMADI, H. Effect of Er, Cr:YSGG laser treatment on bond strength to microshear of zirconia to resin cement before and after sintering. The Journal of Adhesive Dentistry, Vol 16, n° 4, 2014

HATAMI M, LOTFI-KAMRAN M, DAVARI A, MOLAZEM M. Effect of Different Laser Treatments on The Shear Bond Strength of Zirconia Ceramic to Resin Cement. Dent Res J 2021; 18:56.

INOKOSHI, M.; SHIMIZUBATAA, M.; NOZAKIB, K.; TAKAGAKIC, T.; YOSHIHARAD, K.; MINAKUCHIA, S.; VLEUGELSF, J.; MEERBEEKG, B. V.; ZHANG, F. Impact of sandblasting on the flexural strength of highly translucent zirconia. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 115 (2021).

JOUKHADAR, C.; OSMAN, E.; RAYYAN, M.; SHREBATY, M. Comparison between different surface treatment methods on shear bond strength of zirconia (in vitro study). J Clin Exp Dent. 2020;12(3): e 264-70

KABIRI, S.; NESHATI, A.; ROHANI, B. Effect of Different Surface Treatments and Pressure Conditions on Shear Bond Strength of Zirconia Ceramic to Composite Resin. Front Dent. 2021; 18:26.

KAIZER, S.; ZHAO, M.; GUO, B.; ZHANG, Y. Graduated ultra-translucent zirconia (5Y-PSZ) for strength and functionalities. Journal of Dental Research. 2018, Vol. 97(11) 1222-1228

KASRAEI, S.; SOUFI, L. R.; HEIDARI, B.; VAFAEE, F. Bond strength of resin cement to CO₂ and Er:YAG laser treated zirconia ceramic. *Restorative Dentistry and Endodontics*. 2014. 39. 4. 296

KHANLAR, L. N.; TAKAGAKI, T.; ABDOU, A.; INOKOSHI, M.; IKEDA, M.; TAKAHASHI, A.; YOSHIHARA, K. NAGAOKA, N.; NIKAIDO, T.; BLATZ, M. B.; TAGAMI, J. Effect of Air-Particle Abrasion Protocol and Primer on the topography and Bond Strength of a High-Translucent Zirconia Ceramic. *Journal of Prosthodontics* (2021) 1–11

KIRMALI, O.; KUSTARCI, A.; KAPDAN, A. Surface roughness and morphologic changes of zirconia: Effect of different surface treatment. *Journal of Clinical Practice*, 2015, vol. 18

KUMAR, R.; D.; Singh, M. D.; Sharma, V.; Madaan, R.; Sareen, K.; Gurjar, B.; Saini, A. K. Effect of zirconia surface treatment on Shear strength of resin cement: A Systematic review and meta-analysis. *Cureus* 2023, 15(9)

KUNT, G. E.; DURAN, I. Effects of laser treatments on surface roughness of zirconium oxide ceramics. *BMC Saúde Bucal* (2018) 18: 222

LE, M.; LARSSON, C.; PAPIA, E. Bond Strength Between MDP-Based Cement and Translucent Zirconia. *Dental Materials Journal* 2019; 38(3): 480–489

LI, R.; WANG, C.; MA, S. Q.; LIU, Z. H.; ZANG, C. C.; ZHANG, W. Y.; SUN, Y. C. High Bonding Strength Between Zirconia and Composite Resin Based on Combined Surface Treatment for Dental Restorations. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials* Volume 18: 1–9, 2020.

LIU, L.; LIU, S.; XIAOMENG, M.; ZHU, Q.; ZHANG, W. Effect of Nd: YAG laser irradiation on surface properties and bond strength of zirconia ceramics. *Lasers Med Sci* (2015) 30:627–634

LOPES, G. R. S.; RAMOS, N. C.; GRANGEIRO, M. T. V.; MATOS, J. D. M.; BOTTINO, M. A.; OZCAM, M.; VALANDRO, L. F.; MELO, R. M. Adhesion between zirconia and resin cement: A critical evaluation of testing methodologies. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 120 (2021)

MACIEL, L. C.; AMARAL, M.; QUEIROZ, D. A.; BAROUDI, K.; CONCILIO, L. R. S. The Effect of Repeated Surface Treatment

of Zirconia on Its Bond Strength to Resin Cement. J Adv Prosthodont 2020; 12:291-8

MAO, L.; KAIZER, M. R.; ZHAO, M.; GUO, B.; SONG, Y. F.; ZHANG, Y. Graded Ultra-Translucent Zirconia (5Y-PSZ) for Strength and Functionalities. Journal of Dental Research 1–7, International & American Associations for Dental Research 2018
McLAREN, E. A.; MAHARISHI, A.; WHITE, S. W. Influence of yttria content and surface treatment on the strength of translucent zirconia materials. The journal of prosthetic dentistry chicago, il, february 21, 2019

MOSHARRAF, R.; RISMANCHIAN, M.; SAVABI, O.; ASHTIANI, A. H. Influence of surface modification techniques on shear bond strength between different zirconia cores and veneering ceramics. J Adv Prosthodont 2011; 3:221-8

MEŠIĆ, K.; MAJNARIĆ, I.; OBHOĐAŠ, J. BARŠIĆ. G.; MEHULIĆ, K. The Effect of Aging on Composition and Surface of Translucent Zirconia Ceramic. Acta stomatol Croat 2020;54(4):339-352.

MORETTO, S. G.; DE FREITAS, P. M.; INCA, H. E. C.; CESAR, P. F.; SILVA, M. S. B.; EDUARDO, C. P. Influence of Er:YAG

laser surface treatment on flexural and bond strengths to glass-infiltrated zirconia-reinforced ceramic. *Lasers in Medical Science* (2020) 36:1487–1495

MOSHARRAF, R.; RISMANCHIAN, M.; SAVABI, O.; ASHTIANI, A. H. Influence of Surface Modification Techniques on Shear Strength Between Different Zirconia and Coating Ceramic Cores. *J Adv Prosthodont* 2011

OMIDI, B. R.; YEGANEH, P. K.; OVEISI, S.; FARAHMANDPOUR, N.; NOURI, F. Comparison of Micro-Shear Bond Strength of Resin Cement to Zirconia with Different Surface Treatments Using Universal Adhesive and Zirconia Primer. *J Lasers Med Sci* 2018 Summer; 9 (3):200-206

OTTONI, R.; BORBA, M. Mechanical and Clinical Behavior of Zirconia-Based Monolithic Prostheses: Literature Review. *Cerâmica* 64 (2018)

RUIZ, M. F. S.; CODERCH, A. R.; EMPRESA, J. M. M.; BADAL, C. F.; SOLÁ, B. V.; PANADERO, A. A. Influence of the chemical composition of monolithic zirconia on its optical and mechanical properties. Systematic review and meta regression. *J Prosthodont Res.* 2022; 66(2): 193–207

RUJA, M. A.; DE SOUZA, G. M.; FINER, Y. Ultrashort-pulse laser as a surface treatment for bonding between zirconia and resin cement. *Materiais Dentários*, 12, 2019.

RUSSO, D. S.; CINELLI, F.; SARTI, C.; GIACHETTI, L. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning methods and Bonding Materials. *Dent. J.* 2019, 7, 74

SAADE, J.; SKIENHE, H.; OUNSI, H.; MATINLINNA, J. P.; SALAMEH, Z. Effect of different combinations of surface treatment on adhesion of resin composite to zirconia. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry* 2019;11 119–129

SARAN R.; GINJUPALLI, K.; GEORGE, S. D.; CHIDANGIL, S.; UNNIKRISHNAN, V. K. Laser as A Tool for Surface Modification of Dental Biomaterials - A Review. *Heliyon* 9 (2023) e17457

SHEN, D.; WANG, H.; SHI, Y.; SU, Z.; HANNIG, M.; FU, B. The Effect of Surface Treatments on Zirconia Bond Strength and Durability. *J. Funct. Biomater.* 2023, 14, 89.

SHIMOE, S.; PENG, T. Y.; WAKABAYASHI, Y.; TAKENAKA, H.; IWAGURO, S.; KAKU, M. Laser-Milled Microslits Improve the Bonding Strength of Acrylic Resin to Zirconia Ceramics. *Polymers* 2020, 12, 817

SPINTZYK, S.; GERSTORFER, J. G.; BOURAUUEL, C.; KEILIG, L.; B, LOHBAUER, U.; BRUNE, A.; GREULING, A.; ARNOLD, C.; RUES, S.; ADJISKI, R.; SAWADA, T.; LÜMKEMANN, N.; STAWARCZYK, B.; ILIE, N.; FRANKENBERGER, R.; DUDEK, M. C.; K, STRICKSTROCK, M.; BEGAND, S. Biaxial flexural strength of zirconia: A round Robin test with 12 laboratories. *Dental Materials* 3679, 2020.

TOKAR, E.; POLAT, S.; OZTURK, C. Repair bond strength of composite to Er,Cr:YSGG laser irradiated zirconia and porcelain surfaces. *biomedical journal* 42 (2019) 193 e199

TOYODA, K.; TANIGUCHI, Y.; NAKAMURA, K.; ISSHI, K.; KAKURA, K.; IKEDA, H.; SHIMIZU, H.; KIDO, H.; KAWAGUCHI, T. Effects of ytterbium laser surface treatment on the bonding of two resin cements to zirconia. *Dental Materials Journal* 2022; 41(1): 45–53

TUNCEL, I.; TURP, I.; ÜSUMEZ, A. Evaluation of translucency of monolithic zirconia and framework zirconia materials. *J Adv Prosthodont* 2016; 8:181-6

TZANAKAKIS, E.; KONTONASAKI, E.; VOYIATZIS, G.; ANDRIKOPOULOS, K. TZOUTZAS, I. Surface Characterization of Monolithic Zirconia Submitted to Different Surface Treatments Applying Optical Interferometry and Raman Spectrometry. *Dental Materials Journal* 2021; 39(1): 111–117

ULGEY, M.; GORLER, O.; GUNDUZ, C. K. Effects of laser modalities on shear bond strengths of composite superstructure to zirconia and PEEK infrastructures: an in vitro study. *The Society of The Nippon Dental University* 2021.

VALENTE, F.; TRAINI, L. M. T. Effects of 10-MDP Based Primer on Shear Bond Strength between Zirconia and New Experimental Resin Cement. *Materials* 2020, 13, 235

YUE, X.; HOU, X.; GAO, J.; BAO, P.; SHEN, J. Effects of MDP-based primers on shear bond strength between resin cement and zirconia. *Experimental and therapeutic medicine* 17: 3564-3572, 2019

ZHANG, X.; DONG, H.; WU, X.; ZHAO, J.; JIANG, O. Evaluation of Er:YAG laser energy transmitted through novel dental zirconia ceramics. *Dental Materials Journal* 2023; 42(5): 669–675

ZHANG, Y.; LAWN; LAWN, BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *Journal of Dental Research*, vol. 97(2) 140-147, 2018.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou fatores importantes na avaliação da superfície da cerâmica ultra translúcida. Tais aspectos podem trazer muitos problemas clínicos e consequência dos mesmos no desempenho e longevidade das zircônias. O tratamento da superfície da zircônia envolve várias técnicas, métodos, tipos de produtos, podendo ser o ponto chave na escolha da melhor forma de tratamento.

Atualmente o método e técnica mais conhecida e mais utilizada para tratamento da superfície das cerâmicas é o jateamento com óxido de alumina, mas o método que estudamos e está prestes a ingressar no mercado cerâmico é o laser de alta potência Er:YAG. Os avanços tecnológicos que envolvem esse tipo de laser, é considerado uma ferramenta importante para

modificação de superfície dos biomateriais dentários, sendo assim, considerado um campo promissor, com excelente potencial para pesquisas.

Foram muitos desafios enfrentados durante a nossa pesquisa, mas todos superados. O primeiro passo foi entender o que seriam as cerâmicas, em especial, a zircônia. Esse material é utilizado atualmente na odontologia envolvendo o mundo estético e reabilitador, buscando sempre um resultado satisfatório. Mas para isso, é importante a atenção especial voltada para o tratamento da superfície, tanto para a asperização, quanto a adesão do cimento com a superfície.

Através desse estudo realizado, recomenda-se que o tratamento superficial das zircônias possa ser realizado com jateamento, mas também possa ser introduzida no mercado odontológico, a técnica do laser de alta potência, permitindo melhorias e atualizações em relação à durabilidade e adesão das restaurações cerâmicas odontológicas.

Nos últimos anos, lasers com diferentes comprimentos de onda e parâmetros foram desenvolvidos e já se tornaram parte integrante da prática odontológica. Esse rápido desenvolvimento dos lasers pode continuar a ter um grande impacto no escopo e na prática da odontologia.

No entanto, como a 5Y-PSZ foi desenvolvida recentemente, ainda são necessários mais estudos para avaliar suas propriedades

e diferentes situações clínicas, a fim de que os dentistas possam utilizá-la com confiança na prática clínica.

A escolha do tipo de zircônia mais adequado com base em seu conteúdo de ítria é que vai determinar sua classificação, sua força e translucidez. Isso é fundamental para o sucesso e a longevidade da restauração, pois nem todas as restaurações de zircônia são iguais.

Os métodos de processamento e sinterização também são discutidos, pois têm um impacto direto nas propriedades da zircônia. O planejamento do preparo dentário, especificamente a redução oclusal, varia de acordo com o tipo de zircônia utilizada em cada caso, influenciando a força e a translucidez da zircônia. Finalmente, um protocolo para colagem de restauração de zircônia é elaborado para garantir uma colagem ideal à estrutura dental.

Métodos de processamento e sinterização têm um impacto direto nas propriedades da zircônia, assim como a abrasão de partículas transportadas pelo ar, seguida por um primer cerâmico e cimento resinoso, podendo garantir uma ligação durável à estrutura do dente. Com isso, adesão não parece ser um empecilho para a indicação dessa zircônia em áreas não retentivas, tornando-a um material promissor para aplicabilidade clínica, garantindo o sucesso e longevidade das restaurações de zircônia.

8. REFERÊNCIA

ABDULSATAR, M. A.; HUSSEIN, B. M. A; MAHMOOD, A. M. Effects of Different Laser Treatments on Some Properties of the Zirconia-Porcelain Interface. *J Lasers Med Sci* 2021; 12: e 2

AKAR, T.; DUNDAR, A.; KIRMALI, Ö.; ÜSTÜN, Ö.; KAPDAN, A.; HAKAN, E.R.; KUSTARCI, A.; R, H.; KURSAT, E. R.; YILMAZ, B. Evaluation of The Shear Bond Strength of Zirconia to A Self-Adhesive Resin Cement After Different Surface Treatment. *Dent Med Probl.* 2021;58(4):463–472

ALSARANI, M. M.; ALSADON, O.; ALAGEEL, O.; ALFRISANY, N.; ALMUTAIRI, Z.; AL-GAWATI, M. A. ALMOZAINY, M. The Effect of Femtosecond Laser Surface Patterns on The Effectiveness of Resin Composite to Zirconia Bonding. *J. Funct. Biomater.* 2023, 14, 508.

ARAMI, S.; TABATABAE, M. H.; NAMDAR, S. F.; CHINIFORUSH, N. Effects of Different Lasers and Particle Abrasion on Surface Characteristics of Zirconia Ceramics. *Journal of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran* (2014; vol. 11, n. 2)

ARCILA, L. V. C.; RAMOS, N. C.; CAMPOS, T. M. B.; DAPIEVE, K. S.; VALANDRO, L. F.; DE MELLO, R. M.; BOTTINO, M. A. Mechanical Behavior and Microstructural Characterization of Different Zirconia Polycrystals In Different Thicknesses. *J Adv Prosthodont* 2021; 13:385-95

BASSO, D. G. Effect of Sandblasting and Cement Layer on Fracture Strength of Zirconias with Different Microstructures. Dissertation presented to the Graduate Program in Dentistry of the Faculty of Dentistry of the UPF, to obtain the title of Master in Dentistry – Area of Concentration in Dental Clinic. University of Passo Fundo, UPF/RS, 2021.

BELO, Y. D.; SONZA, Q. N.; BORBA, M.; BONA, A. D. Yttria-stabilized tetragonal zirconia: mechanical behavior, adhesion, and clinical longevity. *Ceramics* 59 (2013) 633-639

BISPO, L. B. Dental Ceramics: Advantages and Limitations of Zirconia. *Rev. Bras. Odontol.* vol.72 no.1-2 Rio de Janeiro Jan./jun. 2015

BITENCOURT, S. B.; FERREIRA, L. C.; MAZZA, L. C.; DOS SANTOS, D. M.; PESQUEIRA, A. A.; THEODORO, L. H. Effect of laser irradiation on bond strength between zirconia and resin

cement or veneer ceramic: A systematic review and meta-analysis.
Journal of Indian Prosthodontic Society, 2021

CARRERA, E. R.; CESAR, P. F.; ENRIQUES, B.; FREDEL, M. C.; ÖZCAN, M.; VOLPATO, C. A. M. Adhesion Behavior of Conventional and High-Translucent Zirconia: Effect of Surface Conditioning Methods and Aging Using an Experimental Methodology. *J Esthet Restor Dent.* 2019;1–10

CXAĞLAR, I.; YANIKOĞLU, N. The Effect of Sandblasting, Er: YAG Laser, and Heat Treatment on the Mechanical Properties of Different Zirconia Cores. *Photomedicine and Laser Surgery* Volume 34, Number 1, 2016.

DA SILVA, B. T. F.; TREVELIN, L. T.; WILLERS, A. E.; CÉSAR, P. F.; MATOS, A. B. Effect of Silica Coating and Laser Treatment on The Flexural Strength, Surface Characteristics, And Bond Strength of a Dental Zircônia. *J Oral Sci.* 2021;129: e12754.

FORMAINI, C.; POLI, F.; MERIGO, E.; LUTEY, A.; CUCINOTTA, A.; CHEVALIER, M.; MCKEE, S.; BRULAT, N.; ROCCA, J. P.; TREVISI, G. Nanosecond Pulsed Fiber Laser Irradiation for Enhanced Zirconia Crown Adhesion:

Morphological, Chemical, Thermal and Mechanical Analysis.
Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology 219 (2021)

GARAYOA, E. C.; PELUMAEZ, J.; TOBAR, C.;
RODREUGUEZ, V.; SUUMAREZ, M. J. Adhesion to Zirconia: A
Systematic Review of Surface Pretreatments and Resin Cements.
Materials 2021,14,2751

GHASEMI, A.; KERMANS SHAH, H.; GHAVAM, M.;
NATEGHIFARD, A.; TORABZADEH, H.; NATEGHIFARD, A.;
ZOLFAGHARNASAB, K.; AHMADI, H. Effect of Er, Cr:YSGG
laser treatment on bond strength to microshear of zirconia to resin
cement before and after sintering. The Journal of Adhesive
Dentistry, Vol 16, n° 4, 2014

HATAMI M, LOTFI-KAMRAN M, DAVARI A, MOLAZEM M.
Effect of Different Laser Treatments on The Shear Bond Strength
of Zirconia Ceramic to Resin Cement. Dent Res J 2021; 18:56.

INOKOSHI, M.; SHIMIZUBATAA, M.; NOZAKIB, K.;
TAKAGAKIC, T.; YOSHIHARAD, K.; MINAKUCHIA, S.;
VLEUGELSF, J.; MEERBEEKG, B. V.; ZHANG, F. Impact of
sandblasting on the flexural strength of highly translucent zirconia.

Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 115 (2021).

JOUKHADAR, C.; OSMAN, E.; RAYYAN, M.; SHREBATY, M. Comparison between different surface treatment methods on shear bond strength of zirconia (in vitro study). J Clin Exp Dent. 2020;12(3): e 264-70

KABIRI, S.; NESHATI, A.; ROHANI, B. Effect of Different Surface Treatments and Pressure Conditions on Shear Bond Strength of Zirconia Ceramic to Composite Resin. Front Dent. 2021; 18:26.

KAIZER, S.; ZHAO, M.; GUO, B.; ZHANG, Y. Graduated ultra-translucent zirconia (5Y-PSZ) for strength and functionalities. Journal of Dental Research. 2018, Vol. 97(11) 1222-1228

KASRAEI, S.; SOUFI, L. R.; HEIDARI, B.; VAFAEE, F. Bond strength of resin cement to CO₂ and Er:YAG laser treated zirconia ceramic. Restorative Dentistry end Endodontic. 2014. 39. 4. 296

KHANLAR, L. N.; TAKAGAKI, T.; ABDOU, A.; INOKOSHI, M.; IKEDA, M.; TAKAHASHI, A.; YOSHIHARA, K. NAGAOKA, N.; NIKAIDO, T.; BLATZ, M. B.; TAGAMI, J.

Effect of Air-Particle Abrasion Protocol and Primer on the topography and Bond Strength of a High-Translucent Zirconia Ceramic. *Journal of Prosthodontics* (2021) 1–11

KIRMALI, O.; KUSTARCI, A.; KAPDAN, A. Surface roughness and morphologic changes of zirconia: Effect of different surface treatment. *Journal of Clinical Practice*, 2015, vol. 18

KUMAR, R.; D.; Singh, M. D.; Sharma, V.; Madaan, R.; Sareen, K.; Gurjar, B.; Saini, A. K. Effect of zirconia surface treatment on Shear strength of resin cement: A Systematic review and meta-analysis. *Cureus* 2023, 15(9)

KUNT, G. E.; DURAN, I. Effects of laser treatments on surface roughness of zirconium oxide ceramics. *BMC Saúde Bucal* (2018) 18: 222

LE, M.; LARSSON, C.; PAPIA, E. Bond Strength Between MDP-Based Cement and Translucent Zirconia. *Dental Materials Journal* 2019; 38(3): 480–489

LI, R.; WANG, C.; MA, S. Q.; LIU, Z. H.; ZANG, C. C.; ZHANG, W. Y.; SUN, Y. C. High Bonding Strength Between Zirconia and Composite Resin Based on Combined Surface Treatment for

Dental Restorations. Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials Volume 18: 1–9, 2020.

LIU, L.; LIU, S.; XIAOMENG, M.; ZHU, Q.; ZHANG, W. Effect of Nd: YAG laser irradiation on surface properties and bond strength of zirconia ceramics. Lasers Med Sci (2015) 30:627–634

LOPES, G. R. S.; RAMOS, N. C.; GRANGEIRO, M. T. V.; MATOS, J. D. M.; BOTTINO, M. A.; OZCAM, M.; VALANDRO, L. F.; MELO, R. M. Adhesion between zirconia and resin cement: A critical evaluation of testing methodologies. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 120 (2021)

MACIEL, L. C.; AMARAL, M.; QUEIROZ, D. A.; BAROUDI, K.; CONCILIO, L. R. S. The Effect of Repeated Surface Treatment of Zirconia on Its Bond Strength to Resin Cement. J Adv Prosthodont L2020; 12:291-8

MAO, L.; KAIZER, M. R.; ZHAO, M.; GUO, B.; SONG, Y. F.; ZHANG, Y. Graded Ultra-Translucent Zirconia (5Y-PSZ) for Strength and Functionalities. Journal of Dental Research 1–7, International & American Associations for Dental Research 2018

McLAREN, E. A.; MAHARISHI, A.; WHITE, S. W. Influence of yttria content and surface treatment on the strength of translucent zirconia materials. The journal of prosthetic dentistry chicago, il, february 21, 2019

MEŠIĆ, K.; MAJNARIĆ, I.; OBHOĐAŠ, J. BARŠIĆ. G.; MEHULIĆ, K. The Effect of Aging on Composition and Surface of Translucent Zirconia Ceramic. Acta stomatol Croat. 2020;54(4):339-352.

MORETTO, S. G.; DE FREITAS, P. M.; INCA, H. E. C.; CESAR, P. F.; SILVA, M. S. B.; EDUARDO, C. P. Influence of Er:YAG laser surface treatment on flexural and bond strengths to glass-infiltrated zirconia-reinforced ceramic. Lasers in Medical Science (2020) 36:1487–1495

MOSHARRAF, R.; RISMANCHIAN, M.; SAVABI, O.; ASHTIANI, A. H. Influence of Surface Modification Techniques on Shear Strength Between Different Zirconia and Coating Ceramic Cores. J Adv Prosthodont 2011

OMIDI, B. R.; YEGANEH, P. K.; OVEISI, S.; FARAHMANDPOUR, N.; NOURI, F. Comparison of Micro-Shear Bond Strength of Resin Cement to Zirconia with Different

Surface Treatments Using Universal Adhesive and Zirconia Primer. *J Lasers Med Sci* 2018 Summer;9(3):200-206

OTTONI, R.; BORBA, M. Mechanical and Clinical Behavior of Zirconia-Based Monolithic Prostheses: Literature Review. *Cerâmica* 64 (2018)

RUÍZ, M. F. S.; CODERCH, A. R.; EMPRESA, J. M. M.; BADAL, C. F.; SOLÁ, B. V.; PANADERO, A. A. Influence of the chemical composition of monolithic zirconia on its optical and mechanical properties. Systematic review and meta regression. *J Prosthodont Res.* 2022; 66(2): 193–207

RUJA, M. A.; DE SOUZA, G. M.; FINER, Y. Ultrashort-pulse laser as a surface treatment for bonding between zirconia and resin cement. *Materiais Dentários*, 12, 2019.

RUSSO, D. S.; CINELLI, F.; SARTI, C.; GIACHETTI, L. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning methods and Bonding Materials. *Dent. J.* 2019, 7, 74

SAADE, J.; SKIENHE, H.; OUNSI, H.; MATINLINNA, J. P.; SALAMEH, Z. Effect of different combinations of surface

treatment on adhesion of resin composite to zirconia. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry* 2019;11 119–129

SARAN R.; GINJUPALLI, K.; GEORGE, S. D.; CHIDANGIL, S.; UNNIKRISHNAN, V. K. Laser as A Tool for Surface Modification of Dental Biomaterials - A Review. *Heliyon* 9 (2023) e17457

SHEN, D.; WANG, H.; SHI, Y.; SU, Z.; HANNIG, M.; FU, B. The Effect of Surface Treatments on Zirconia Bond Strength and Durability. *J. Funct. Biomater.* 2023, 14, 89.

SHIMOE, S.; PENG, T. Y.; WAKABAYASHI, Y.; TAKENAKA, H.; IWAGURO, S.; KAKU, M. Laser-Milled Microslits Improve the Bonding Strength of Acrylic Resin to Zirconia Ceramics. *Polymers* 2020, 12, 817

SPINTZYK, S.; GERSTORFER, J. G.; BOURAUDEL, C.; KEILIG, L.; B, LOHBAUER, U.; BRUNE, A.; GREULING, A.; ARNOLD, C.; RUES, S.; ADJISKI, R.; SAWADA, T.; LÜMKEMANN, N.; STAWARCZYK, B.; ILIE, N.; FRANKENBERGER, R.; DUDEK, M. C.; K, STRICKSTROCK, M.; BEGAND, S. Biaxial flexural strength of zirconia: A round Robin test with 12 laboratories. *Dental Materials* 3679, 2020.

TOKAR, E.; POLAT, S.; OZTURK, C. Repair bond strength of composite to Er,Cr:YSGG laser irradiated zirconia and porcelain surfaces. *biomedical journal* 42 (2019) 193 e199

TOYODA, K.; TANIGUCHI, Y.; NAKAMURA, K.; ISSHI, K.; KAKURA, K.; IKEDA, H.; SHIMIZU, H.; KIDO, H.; KAWAGUCHI, T. Effects of ytterbium laser surface treatment on the bonding of two resin cements to zirconia. *Dental Materials Journal* 2022; 41(1): 45–53

TUNCEL, I.; TURP, I.; ÜSÜMEZ, A. Evaluation of translucency of monolithic zirconia and framework zirconia materials. *J Adv Prosthodont* 2016; 8:181-6

TZANAKAKIS, E.; KONTONASAKI, E.; VOYIATZIS, G.; ANDRIKOPOULOS, K. TZOUTZAS, I. Surface Characterization of Monolithic Zirconia Submitted to Different Surface Treatments Applying Optical Interferometry and Raman Spectrometry. *Dental Materials Journal* 2021; 39(1): 111–117

ULGEY, M.; GORLER, O.; GUNDUZ, C. K. Effects of laser modalities on shear bond strengths of composite superstructure to zirconia and PEEK infrastructures: an in vitro study. *The Society of The Nippon Dental University* 2021.

VALENTE, F.; TRAINI, L. M. T. Effects of 10-MDP Based Primer on Shear Bond Strength between Zirconia and New Experimental Resin Cement. *Materials* 2020, 13, 235

YUE, X.; HOU, X.; GAO, J.; BAO, P.; SHEN, J. Effects of MDP-based primers on shear bond strength between resin cement and zirconia. *Experimental and therapeutic medicine* 17: 3564-3572, 2019

ZHANG, X.; DONG, H.; WU, X.; ZHAO, J.; JIANG, O. Evaluation of Er:YAG laser energy transmitted through novel dental zirconia ceramics. *Dental Materials Journal* 2023; 42(5): 669–675

ZHANG, Y.; LAWN; LAWN, BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *Journal of Dental Research*, vol. 97(2) 140-147, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Análise estatística do....

