



Tratamento de superfície na resistência de união da cerâmica de zircônia

Surface treatment on bond strength of zirconia ceramics

Tratamiento superficial sobre la fuerza adhesiva de las cerámicas de circonio

Leonardo Pinto Araújo¹, Ana Cristina de Mello Fiallos¹, Francisco Anderson de Sousa Sales¹, Paulo Victor Negrão Saraiva¹, Samyres Oliveira dos Santos¹, Raniel Fernandes Peixoto¹, Wagner Araújo de Negreiros¹, Rômulo Rocha Regis¹, Marcelo Barbosa Ramos¹.

RESUMO

Objetivo: Analisar os protocolos de tratamento de superfície para uma melhor resistência de adesão às cerâmicas a base de zircônia. **Métodos:** Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, com artigos publicados entre 2013 e 2023, disponíveis em inglês e com textos completos. A pesquisa foi realizada na base de dados Pubmed, utilizando os descritores “zirconia”, “surface treatment”, “bond strength”, “resin cements” e “cementation”, combinados pelo operador booleano “AND”. **Resultados:** 17 artigos foram selecionados após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Os tratamentos analisados foram classificados em tratamentos de superfície mecânicos (abrasão por jateamento de partículas, sistemas Rocatec, Siljet, Cojet e lasers) e químicos (condicionamento por infiltração seletiva, soluções de ácido fluorídrico e primers/silanos contendo MDP). A abrasão por jateamento aumentou a energia livre da superfície e melhorou a adesão, embora possa causar fragilização. Os sistemas como Rocatec, Siljet e Cojet promoveram boa retenção micromecânica com partículas de sílica. Os lasers não demonstraram melhora significativa, e o condicionamento por infiltração seletiva foi eficaz sem causar fraturas. As soluções de HF e primers/silanos mostraram desempenho insatisfatório. **Considerações finais:** Embora não haja um protocolo universal, técnicas específicas podem melhorar a resistência de união a longo prazo.

Palavras-chave: Zircônia dentária, Resistência à flexão, Resistência ao cisalhamento, Cimentação.

ABSTRACT

Objective: To analyze surface treatment protocols for improved bond strength to zirconia ceramics among the various types of surface treatment available. **Methods:** This is an integrative literature review, with articles published between 2013 and 2023, available in English and in full text. The search was carried out in the Pubmed database, using the descriptors “zirconia”, “surface treatment”, “bond strength”, “resin cements” and “cementation”, combined by the Boolean operator “AND”. **Results:** 17 articles were selected after applying the inclusion and exclusion criteria. The treatments analyzed were classified as mechanical (particle blasting abrasion, Rocatec, Siljet, Cojet systems and lasers) and chemical (selective infiltration etching, hydrofluoric acid solutions and primers/silanes containing MDP). Blasting abrasion increased the free energy of the surface and improved adhesion, although it can cause embrittlement. Systems such as Rocatec, Siljet and Cojet promoted good micromechanical retention with silica. Lasers did not demonstrate significant improvement, and selective infiltration etching was effective without causing fractures. HF solutions and primers/silanes showed unsatisfactory performance. **Final considerations:** Although there is no universal protocol, specific techniques can improve long-term bond strength.

Keywords: Dental porcelain, Flexural strength, Shear strength, Cementation.

¹ Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza - CE.

RESUMEN

Objetivo: Analizar protocolos de tratamiento superficial que optimicen la resistencia de adhesión a cerámicas de circonio entre los diferentes tratamientos disponibles. **Métodos:** Revisión integradora de artículos publicados entre 2013 y 2023, en inglés y texto completo, utilizando Pubmed con los descriptores “zirconia”, “surface treatment”, “bond strength”, “resin cements” y “cementation” combinados con “AND”. **Resultados:** Se seleccionaron 17 artículos basados en criterios de inclusión y exclusión. Los tratamientos se clasificaron en mecánicos (abrasión con partículas, sistemas Rocatec, Siljet, Cojet y láseres) y químicos (infiltración selectiva, ácido fluorhídrico y primers/silanos con MDP). La abrasión por granallado mejoró la adhesión, aunque puede generar fragilidad. Sistemas como Rocatec, Siljet y Cojet ofrecieron buena retención micromecánica con sílice, mientras que los láseres no mostraron mejoras significativas. El acondicionamiento por infiltración selectiva resultó efectivo sin causar fracturas. Las soluciones de HF y los primers/silanos mostraron un rendimiento insatisfactorio. **Consideraciones finales:** No hay un protocolo universal, pero técnicas específicas pueden mejorar la resistencia de unión a largo plazo.

Palabras clave: Porcelana dental, Resistencia flexional, Resistencia al corte, Cementación.

INTRODUÇÃO

A zircônia, um material restaurador cerâmico de alta resistência e estética, foi desenvolvida para atender às demandas por melhores propriedades físicas em áreas de alto estresse, como próteses parciais fixas, pilares e restaurações diretas ou indiretas (KUMAR R, et al., 2023; PERDIGÃO J, et al., 2013; RUSSO DS, et al., 2019). O policristal de zircônia ítria-tetragonal (Y-TZP) destaca-se pela sua elevada tenacidade e resistência à fratura em comparação com outras cerâmicas, devido à adição de ítria, que estabiliza a fase tetragonal e impede a propagação de trincas, resultando em uma estrutura mais resistente e durável (BITTENCOURT S, et al., 2021; KUMAR R, 2023; RUSSO DS, et al., 2019; ZARHAN M, et al., 2023).

O tratamento de superfície da zircônia é essencial para melhorar sua adesão aos cimentos resinosos. Uma técnica amplamente utilizada é o jateamento com óxido de alumínio (Al_2O_3), que torna a superfície mais áspera, aumentando a área e a energia superficial para uma melhor retenção micromecânica (PAPIA E, et al., 2013; TZANAKAKIS EGC, et al., 2016). Alternativamente, o uso de lasers tem se destacado como um método eficaz para condicionar mecanicamente a superfície da zircônia, promovendo a interligação micromecânica com a resina através de ablação (ABDULLAH AO, et al., 2020; BITTENCOURT S, et al., 2021; PAPIA E, et al., 2013;).

Além dos métodos físicos, abordagens químicas, como o uso de primers cerâmicos com agentes de acoplamento de silano e cimentos resinosos com radicais reativos, têm sido exploradas para aumentar a reatividade da superfície da cerâmica e melhorar a adesão (PAPIA E, et al., 2013; SAADE J, et al., 2020; ZENS MA, et al., 2019). A deposição triboquímica de sílica é outra técnica promissora, onde partículas de alumina revestidas com sílica são incorporadas na superfície da zircônia, promovendo uma alteração química que favorece a adesão (KUMAR R, et al., 2023).

Apesar das diversas técnicas disponíveis, ainda não existe um protocolo padronizado que garanta resultados consistentes na adesão da zircônia. A ausência de sílica em sua composição torna o tratamento de superfície mais desafiador em comparação com cerâmicas vítreas, que respondem bem ao ataque por ácido fluorídrico, ressaltando a necessidade de novas pesquisas para otimizar esses processos (GRASEL R, et al., 2018; PERDIGÃO J, et al., 2013; RUSSO DS, et al., 2019; SAADE J, et al., 2020).

Este trabalho se justifica pela necessidade de apresentar e discutir os diferentes tratamentos de superfície da zircônia que estão sendo investigados e sua atual perspectiva. Assim, o objetivo desta pesquisa foi revisar a literatura dos últimos 10 anos para analisar os protocolos de tratamento de superfície que proporcionam melhor resistência de adesão às cerâmicas a base de zircônia. Especificamente, buscou-se comparar os métodos de tratamento de superfície mais utilizados, verificar sua influência na resistência de união da cerâmica aos cimentos resinosos e buscar um protocolo atualizado que garanta as melhores propriedades fundamentais da zircônia, fundamentado em bases científicas sólidas.

MÉTODOS

Trata-se de uma revisão de literatura de cunho exploratório e com abordagem qualitativa. A pesquisa foi estruturada a partir de uma revisão bibliográfica sobre protocolos de tratamento de superfície para otimizar a resistência de adesão à cerâmica de zircônia. A estratégia de busca foi realizada na base de dados PubMed, utilizando os descritores em inglês: “zirconia”, “surface treatment”, “bond strength”, “resin cements” e “cementation”. As combinações foram realizadas por meio dos operadores booleanos “AND” para definir mais precisamente o espectro de busca.

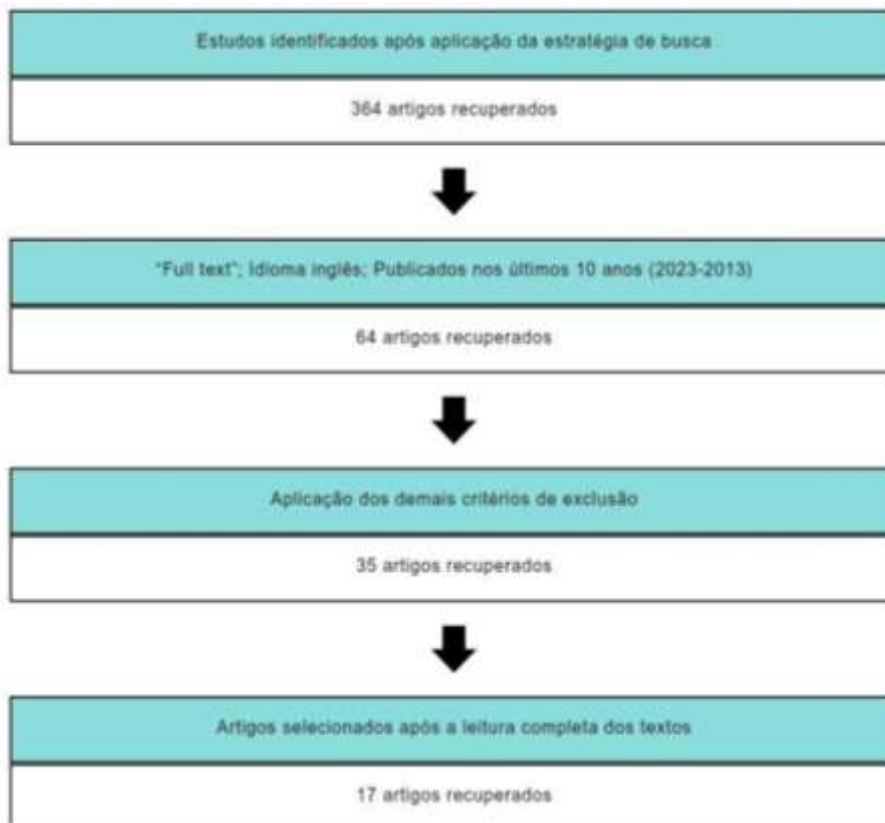
Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos publicados entre 2013 e 2023, no idioma inglês, que possuísem texto completo na plataforma, incluindo revisões sistemáticas, metanálises, estudos multicêntricos randomizados e estudos “in vitro”. Os títulos e resumos de todos os trabalhos foram analisados pelos autores e todos os estudos que preencheram os critérios de inclusão foram selecionados para leitura do texto na íntegra. Foram excluídas todas as publicações que não atendessem ao objetivo da pesquisa, bem como pesquisas em animais e revisões de literatura não sistemáticas.

RESULTADOS

A aplicação da estratégia de busca resultou em um total de 364 títulos e, após a aplicação dos filtros “Full Text”, idioma inglês e período de tempo dos últimos 10 anos, esse número reduziu para 64 artigos. De acordo com os critérios de inclusão e exclusão, todos os títulos e resumos foram lidos, sendo selecionados 35 artigos para leitura completa do texto.

Após a leitura completa dos artigos, foram selecionados 17 artigos que satisfizeram os critérios de inclusão e exclusão deste trabalho. Na **Figura 1**, está representado um fluxograma apresentando as etapas da seleção. As informações referentes ao nome dos autores, ano de publicação, periódico, tipo de estudo e principais achados estão apresentados no **Quadro 1**.

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção dos artigos para revisão integrativa.



Fonte: Araújo LP, et al., 2025.

Quadro 1 - Caracterização das publicações analisadas na Revisão de Literatura.

N	Autor e ano	Periódico	Tipo de estudo	Principais achados
1	ATOCHÉ-SOCOLA KJ, et al., (2021)	The Journal of Advanced Prosthodontics	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	O jateamento com partículas de Al ₂ O ₃ e aplicação de Alloy Primer e Ea-Zy Primer aumentaram a resistência de união de cimentos resinosos à zircônia. O CoJet Sand teve impacto positivo apenas com o cimento Panavia F 2.0, evidenciando que a eficácia dos tratamentos varia conforme o cimento utilizado.
2	BITTENCOURT S, et al., (2021)	The Journal of Indian Prosthodontic Society	Revisão sistemática	A irradiação a laser de zircônia com diferentes tipos de lasers (Nd, Er, Yb) pode melhorar a rugosidade superficial, embora os parâmetros de laser influenciem nos resultados. Entre os lasers, Yb apresentou desempenho superior na adesão.
3	DEEB JG, et al., (2021)	Advances in Clinical and Experimental Medicine	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	Estudo comparou os lasers Er e Er,Cr para remoção de coroas de zircônia, com o Er,Cr apresentando melhor eficiência e menor risco de danos ao substrato dentário, o que indica uma aplicação segura e precisa para remoção de coroas cimentadas em zircônia.
4	FUSHIKI R, et al., (2015)	The Journal Of Adhesive Dentistry	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	O revestimento com sílica aplicada sobre a superfície de zircônia aumentou a resistência de união a longo prazo, particularmente em combinação com agentes de adesão MDP, destacando-se como um método eficaz para estabilidade de adesão após envelhecimento artificial.

N	Autor e ano	Periódico	Tipo de estudo	Principais achados
5	GOYATÁ F, et al., (2018)	Journal Of Clinical And Experimental Dentistry	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	O tratamento com soluções ácidas, como HF, elevou a rugosidade e a energia de superfície da Y-TZP, o que contribuiu para a melhora na adesão; no entanto, sua eficácia foi limitada em relação a outros métodos como jateamento com Al_2O_3 e silicatização.
6	GRASEL R, et al., (2018)	Operative Dentistry.	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	A combinação de jateamento com Al_2O_3 e primers MDP, especialmente Z-Prime Plus, resultou em aumento significativo na resistência de união. O jateamento mostrou eficácia ao preparar a superfície para adesão, enquanto o primer MDP ajudou a estabilizar a ligação química com cimentos resinosos.
7	KUMAR R, et al., (2023)	Curêus	Revisão Sistemática	O revestimento com sílica apresentou a maior resistência ao cisalhamento em adesão de zircônia, superando o jateamento com Al_2O_3 e tratamentos com laser, indicando que a silicatização é um método preferível para otimizar a adesão de cimentos resinosos.
8	PAPIA E, et al., (2013)	Journal of Biomedical Materials Research	Revisão Sistemática	A análise comparativa mostrou que o jateamento com Al_2O_3 , seguido por silanização, melhora significativamente a resistência de união da zircônia a cimentos resinosos em relação a outros métodos, devido à criação de retenção micromecânica e à ativação química pela silanização.

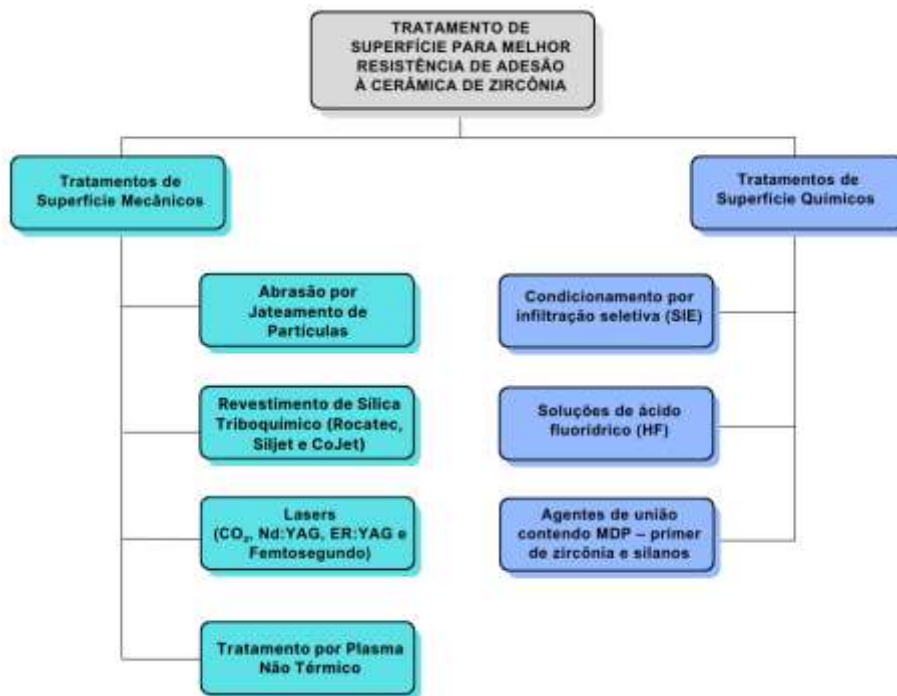
N	Autor e ano	Periódico	Tipo de estudo	Principais achados
9	PERDIGÃO J, et al., (2013)	Operative Dentistry	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	Diferentes tratamentos de superfície foram avaliados, com o grupo tratado com Z-Prime Plus apresentando maior resistência de união. O estudo destaca a importância do envelhecimento artificial para simular condições clínicas e prever a durabilidade da adesão.
10	RUSSO DS, et al., (2019)	Dentistry Journal	Revisão Sistemática	As técnicas de tratamento triboquímicos, como Rocatec e Cojet, promovem boa retenção micromecânica para a adesão de cimentos resinosos à zircônia, além de melhorar a resistência ao cisalhamento ao combinar jateamento com sílica e agentes MDP.
11	SAADE J, et al., (2019)	Clinical, Cosmetic And Investigational Dentistry	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	A abrasão com partículas de alumina de 50 e 100 µm, combinada com cimentos resinosos à base de MDP, aumentou a resistência de união. A abrasão com partículas maiores apresentou resultados superiores, mas pode induzir maior fragilidade na estrutura da zircônia a longo prazo.
12	SAADE J, et al., (2020)	Clinical, Cosmetic And Investigational Dentistry	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	A resistência de união diminuiu após o envelhecimento e degradação enzimática em amostras tratadas, sugerindo que tratamentos devem ser combinados para melhorar a durabilidade da adesão à zircônia.
13	SAMIMI P, et al., (2015)	The Journal of Adhesive Dentistry	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	O tipo de resina influencia a adesão à zircônia. O uso de resinas contendo MDP mostrou-se superior, evidenciando a importância da escolha

N	Autor e ano	Periódico	Tipo de estudo	Principais achados
				do cimento resinoso para otimizar a adesão em reabilitações com zircônia.
14	TANIŞ S, et al., (2018)	Journal Of Esthetic And Restorative Dentistry	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	A infiltração seletiva de vidro na superfície da zircônia (SIE) aumentou a resistência de união a cimentos resinosos à base de MDP, criando uma camada de nanoporosidades que facilitam a adesão micromecânica e a estabilidade química da interface adesiva.
15	TZANAKAKIS EGC, at al., (2016)	The Journal of Prosthetic Dentistry	Revisão Sistemática	O jateamento com $Al_2 O_3$ resulta em resistência de união duradoura quando associado a agentes de silano, favorecendo a adesão por meio de retenção micromecânica e interação química.
16	VALVERDE GB, et al, (2013)	Journal of Dentistry	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	O plasma não térmico aumentou a energia de superfície e resistência de união à zircônia em apenas 10 segundos, comparável ao jateamento com $Al_2 O_3$, sendo uma alternativa eficaz e menos invasiva para preparar superfícies de zircônia para adesão com resina composta.
17	YAVUZ T, et al., (2015)	Journal of Prosthodontics	"In vitro" prospectivo randomizado controlado	Laser Er mostrou melhorias na rugosidade superficial e resistência de união à zircônia, mas o jateamento com $Al_2 O_3$ ainda demonstrou melhores resultados, indicando que a eficácia do laser depende de parâmetros específicos e pode não substituir métodos tradicionais.

Fonte: Araújo LP, et al., 2025.

Os tratamentos de superfície mecânicos e químicos abordados nesta revisão encontram-se destacados na **Figura 2**.

Figura 2 - Classificação dos tratamentos de superfície para a cerâmica de zircônia.



Fonte: Araújo LP, et al., 2025. Fundamentado em: Papia E, et al., 2013; Russo DS, et al., 2019; Tzanakakis EGC, et al., 2016.

Tratamento de superfície mecânico

Abrasão por jateamento de partículas aerotransportadas

Papia E, et al. (2013) investigaram o efeito do jateamento com óxido de alumínio (Al_2O_3) e partículas abrasivas de diamante e nitreto de boro em cerâmicas antes e após a sinterização. O estudo revelou que o jateamento com Al_2O_3 , utilizando partículas de 50 a 125 μm , e com outras partículas abrasivas, resultou em resistência de união média de 30,5 MPa, comparável aos valores obtidos com outras partículas (22,7 a 31,0 MPa). Esses tratamentos elevaram significativamente a resistência de união em comparação com superfícies polidas e não tratadas.

Yavuz T, et al. (2015) utilizaram microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia de força atômica (MFA) para examinar os efeitos de diferentes tratamentos de superfície em cerâmicas. As superfícies cerâmicas foram jateadas com partículas de Al_2O_3 com tamanho de 50 μm , a uma distância de aproximadamente 10 mm a uma pressão de 2,7 atm por 20 segundos. Como resultado, os valores para as amostras de zircônia e dissilicato de lítio jateadas com Al_2O_3 em comparação com os outros métodos de tratamento, foram significativamente maiores que os demais grupos, e introdução de silano após o revestimento com sílica (SiO_2) melhorou a resistência de união das amostras.

Tzanakakis EGC, et al. (2016) definiram parâmetros para o jateamento com Al_2O_3 : tamanhos de partículas (25 a 250 μm), pressão de propulsão (0,05 a 0,45 MPa), distância (5 a 20 mm) e tempo de jateamento (5 a 30 segundos). A resistência de união não variou significativamente entre diferentes tamanhos de partículas, apesar da rugosidade superficial ser maior com partículas maiores. O jateamento aumentou a rugosidade sem melhorar a retenção micromecânica, embora alguns estudos mostraram melhor adesão após jateamento com alumina (50 μm).

Grasel R, et al. (2018) investigaram a adesão de zircônia com diferentes primers e sistemas de cimentação após jateamento com Al_2O_3 de 50 μm . O estudo revelou que o jateamento melhorou a adesão em três dos

quatro sistemas de cimentação testados (SU: Scotchbond Universal/RelyX Unicem 2; ZP: Z-Prime Plus/Duo-link Universal; MB: Monobond Plus/Variolink II; e AP: Alloy Primer/ED Primer II/Panavia F 2.0). Para o sistema Scotchbond Universal, o jateamento não foi necessário, enquanto para os sistemas Z-Prime Plus, Monobond Plus e Alloy Primer, o jateamento resultou em melhor adesão, especialmente nos sistemas AI-ZP e AI-MB.

O estudo de Saade J, et al. (2019) analisou a resistência de união de cimentos resinosos à zircônia após diferentes tratamentos de superfície. Comparando abrasão com partículas de alumina de 50 µm e 100 µm, observou-se que as partículas de 100 µm aumentaram a transformação de fase da cerâmica e a resistência de união, mas também poderiam causar fraturas a longo prazo devido a tensões mecânicas e umidade oral. Em contraste, o tratamento com partículas de 50 µm, especialmente quando combinado com cimentos à base de 10-metacrilóxi-decilo-dihidrogenofosfato (10-MDP) e primer cerâmico, proporcionou uma boa resistência de união e pode ser mais durável clinicamente.

Russo DS, et al. (2019) realizaram uma revisão sistemática dos métodos para melhorar a adesão da zircônia ao substrato dentário com cimentos resinosos. A revisão destacou que o jateamento com Al_2O_3 e revestimento triboquímico de SiO_2 são métodos bem suportados. O jateamento modifica a superfície da cerâmica e, quando combinado com promotores químicos como silanos ou agentes à base de 10-MDP, otimiza a adesão. Ainda conforme o estudo, cerâmicas resistentes a ácidos, como Y-TZP, têm a resistência de união aumentada com abrasão por jateamento, realizada em diferentes pressões e tamanhos de partículas.

Revestimento de sílica triboquímico

Os sistemas Rocatec, Siljet e CoJet utilizam a técnica de deposição triboquímica de sílica (SiO_2), aplicando jateamento com partículas de alumina recobertas de SiO_2 para criar irregularidades na superfície da cerâmica e formar uma camada superficial enriquecida. Este processo melhora a retenção micromecânica e reduz a resistência à corrosão da superfície, favorecendo a adesão de cimentos resinosos à base de MDP (RUSSO DS, et al., 2019; TZANAKAKIS EGC, et al., 2016; YAVUZ T, et al., 2015).

Perdigão J, et al. (2013) investigaram o impacto do envelhecimento artificial na resistência de união à zircônia, comparando tratamentos de superfície em discos de zircônia tratados com diferentes métodos. Todos os discos foram submetidos a uma limpeza superficial padrão antes de serem divididos aleatoriamente em dois grupos de envelhecimento: 1) AR (grupo controle, sem envelhecimento artificial) e 2) AG (grupo envelhecido artificialmente). Cada grupo recebeu um tratamento específico: nenhum tratamento (NT), jateamento de Al_2O_3 usando o sistema CoJet (CO) ou aplicação de Z-Prime Plus (ZP). O grupo AR-ZP mostrou a maior resistência de união, enquanto o grupo AG-NT obteve os menores valores.

Russo DS, et al. (2019) descrevem dois métodos principais para melhorar a adesão: o sistema Rocatec, com jato de Al_2O_3 seguido por partículas de alumina revestidas com sílica de 110 µm, e o sistema CoJet, com partículas revestidas de sílica de 30 µm. Apesar das diferenças no tamanho das partículas, de 50 µm a 120 µm para alumina e de 30 µm a 110 µm para silicatização, essas variações não afetam significativamente o teste de tração.

Kumar R, et al. (2023) realizaram uma meta-análise sobre tratamentos de superfície para zircônia, comparando jateamento com Al_2O_3 , revestimento com sílica e tratamento a laser. O revestimento com sílica proporcionou a maior resistência ao cisalhamento, superando o jateamento com Al_2O_3 e o tratamento a laser. A revisão destaca a eficácia superior do revestimento com sílica na promoção da adesão entre zircônia e cimento resinoso.

Lasers

Papia E, et al. (2013) avaliaram os efeitos dos lasers de dióxido de carbono (CO_2), granada de ítrio-alumínio dopada com neodímio (Nd:YAG) e granada de ítrio-alumínio dopada com érbio (Er:YAG) na resistência de união da zircônia ao cimento resinoso, medindo cisalhamento, tração, microcisalhamento e microtração em megapascals (MPa). A revisão revelou que o CO_2 , combinado com jateamento de Al_2O_3 , aumenta significativamente a resistência de união ao melhorar a rugosidade da superfície. Todavia, a eficácia depende da intensidade do laser e da técnica de jateamento, ressaltando a necessidade de protocolos padronizados para otimizar os resultados clínicos.

Yavuz T, et al. (2015), utilizando MEV e MFA, investigaram a topografia da cerâmica tratada com laser Er:YAG. O tratamento envolveu a irradiação com um dispositivo de mão com diâmetro de 1,3 mm e bico de pulverização, movido manualmente sobre a superfície cerâmica a 1 mm de distância e resfriado com água. Apesar da variação nos parâmetros do laser, as imagens de MFA mostraram alterações mínimas na topografia. Em contraste, métodos como jateamento de partículas alteraram significativamente a rugosidade da superfície, indicando que o tratamento mecânico pode ser mais eficaz para promover a adesão ao cimento resinoso. Russo DS, et al. (2019) relataram que o laser Nd:YAG não garantiu níveis satisfatórios de rugosidade e adesão na zircônia, podendo causar superaquecimento e rachaduras. O laser Er:YAG, com configuração de 2 W, ofereceu rugosidade comparável ao jateamento, mas também causou defeitos. Intensidades de 400 ou 600 mJ geraram deterioração, enquanto 200 mJ não foram eficazes. O laser de pulso ultracurto (Yb:YAG), com pulsos de 6 picossegundos e 9 W, mostrou-se superior ao revestimento triboquímico com sílica e ao jateamento de alumina em resistência de união à microtração (μ TBS), com uma superfície áspera e sem defeitos evidentes.

Bitencourt S, et al. (2021) conduziram uma revisão sistemática e meta-análise sobre a irradiação a laser na resistência de união da zircônia tetragonal policristalina estabilizada por ítrio (Y-TZP) ao cimento resinoso. As potências dos lasers CO_2 variaram de 2 a 20 W, com distâncias de 1 a 5 mm. Para o laser Er:YAG, potências foram de 1 a 6 W, com distâncias de 1 a 10 mm, e para o Nd:YAG, potências foram de 0,8 a 4 W, com distância fixa de 1 mm. A maioria dos estudos indicou que os tratamentos a laser proporcionaram melhores valores de resistência de união em comparação ao jateamento de Al_2O_3 .

Deeb JB, et al. (2021) compararam a eficácia de lasers de alta potência à base de érbio na remoção de coroas de zircônia em dentes molares. Vinte e cinco dentes restaurados com coroas de zircônia cimentadas com cimento de ionômero de vidro modificado por resina foram divididos em dois grupos: laser Er:YAG (G1) e laser Er,Cr:YSGG (G2). Os parâmetros de potência, frequência e pulso foram ajustados, e o experimento foi repetido duas vezes. O laser Er,Cr:YSGG apresentou um desempenho superior na remoção das coroas ($p = 0,0058$) em comparação ao laser Er:YAG, indicando uma alternativa mais eficaz e precisa com menor risco de danos ao substrato dentário. Kumar R, et al. (2023) avaliaram os efeitos de lasers CO_2 , Er:YAG, Nd:YAG e Er,Cr:YSGG na resistência ao cisalhamento entre zircônia e cimento resinoso. O tratamento com lasers aumentou a rugosidade da superfície da zircônia, melhorando a molhabilidade e a resistência ao cisalhamento. Entre os lasers, Er:YAG e Er,Cr:YSGG mostraram resultados promissores na preparação da superfície da zircônia para cimentação, sem comprometer a integridade estrutural da cerâmica.

Tratamento por plasma não térmico

Valverde GB, et al. (2013) avaliaram o impacto do plasma não térmico (PNT) na superfície de zircônia Y-TZP, medindo a energia superficial (ES) e a resistência de união à microtração (RUM). A espectroscopia de fotoelétrons de raios X mostrou que o PNT elevou a ES da zircônia a níveis similares ao jateamento com Al_2O_3 em apenas 10 segundos. Testes com discos de Y-TZP e resina composta indicaram que o PNT, tanto isolado quanto combinado com MDP e jateamento, melhorou significativamente a RUM, destacando o PNT como uma alternativa eficaz e menos invasiva para melhorar a adesão do cimento resinoso.

Tratamento de superfície químico

Condicionamento por Infiltração Seletiva (SIE)

O Condicionamento por Infiltração Seletiva (SIE) utiliza calor para permitir a infiltração de vidro na superfície da zircônia, criando nanoporosidades que melhoram a adesão com cimentos resinosos, especialmente aqueles à base de MDP. Embora eficaz, o SIE requer mais tempo e cuidado que o jateamento com Al_2O_3 , que, apesar de também aumentar a resistência de união, causa mais desgaste na zircônia. Estudos indicam que o SIE oferece maior durabilidade após o envelhecimento "in vitro" em comparação a outros métodos (SAMIMI P, et al., 2015; TZANAKAKIS EGC, et al., 2016; TANIŞ MÇ, et al., 2018; SAADE J, et al., 2020).

Soluções de ácido fluorídrico (HF)

O ácido fluorídrico (HF) é eficaz em cerâmicas com alto teor de vidro, mas limitado na zircônia Y-TZP devido à sua alta cristalinidade e baixo teor de SiO_2 . Para aumentar a eficácia do HF, recomenda-se revestir

a zircônia com sílica e combinar o tratamento com primers contendo MDP, que melhoram a penetração do agente de acoplamento e a resistência de união. Estudos mostram que o HF, quando combinado com sílica e primers de MDP, pode ser eficaz na adesão da zircônia, embora menos que a abrasão com Al_2O_3 (FUSHIKI R, et al., 2015; GOYATÁ F, et al., 2018).

Agentes de união contendo monômeros fosfatados a base de MDP – Primer de Zircônia e Silanos

O tratamento da superfície de zircônia com monômeros fosfatados à base de MDP tem mostrado ser uma abordagem eficaz para melhorar a adesão entre zircônia e cimentos resinosos. De acordo com Yavuz T, et al. (2015), o primer MDP, como o Z Primer Plus, reage com o óxido de zircônia para formar fosfato de zircônia, criando uma interface estável e resistente. Este método demonstrou superioridade em adesão em comparação com métodos alternativos, como a silanização isolada (GRASEL R, et al., 2018; TZANAKAKIS EGC, et al., 2016).

Grasel R, et al. (2018) investigaram diferentes combinações de primers e o efeito do jateamento com Al_2O_3 na adesão de cimentos resinosos à zircônia. Os autores testaram tratamentos de superfície e sistemas de cimentação utilizando 80 blocos de zircônia divididos em 8 grupos experimentais. Os resultados indicaram que o jateamento com Al_2O_3 , combinado com primers específicos, como o Z-Prime Plus, resultou em melhor resistência de união do que o uso de primers isolados, destacando a importância da combinação de jateamento e primer de MDP.

Atoche-Socola KJ, et al. (2021) avaliaram a resistência de união ao microcisalhamento (μ SBS) de diferentes cimentos resinosos aplicados à zircônia com vários tratamentos de superfície. Os tratamentos incluíram jateamento com Al_2O_3 e tratamentos experimentais como Alloy Primer e CoJet Sand. Os resultados mostraram que Alloy Primer e Ea-Zy Primer aumentaram a μ SBS para todos os cimentos testados, enquanto CoJet Sand teve impacto positivo apenas com o cimento Panavia F 2.0. Segundo os autores, a eficácia dos tratamentos de superfície variou conforme o tipo de cimento resinoso utilizado.

DISCUSSÃO

Entre os métodos mecânicos, o jateamento com Al_2O_3 se destaca como um dos procedimentos mais estudados e eficazes para aumentar a resistência de adesão. Papia E, et al. (2013) e Russo DS, et al. (2019) confirmaram que o jateamento com Al_2O_3 melhora significativamente a resistência de união à zircônia, principalmente quando combinado com promotores químicos como silano e agentes à base de 10-MDP. O estudo de Tzanakakis EGC, et al. (2016) complementa essa visão, apontando que o tamanho das partículas e a pressão de jateamento são fatores críticos, mas a resistência de união não é significativamente influenciada apenas pela rugosidade superficial obtida. Essa variação nos resultados pode ser atribuída a diferenças nos protocolos de jateamento e à necessidade de uma combinação com agentes químicos para otimizar a adesão.

O revestimento triboquímico com sílica, utilizando sistemas como o Rocatec e Cojet, também se mostrou eficaz. A aplicação de sílica após o jateamento de alumina pode criar uma superfície mais adequada para a adesão, como destacado por Perdigão J, et al. (2013) e Russo DS, et al. (2019). O uso de silano após o jateamento com sílica proporciona uma adesão superior, uma vez que melhora a interação química entre a cerâmica e o cimento resinoso.

No campo dos tratamentos químicos, o uso de monômeros fosfatados à base de MDP demonstrou ser uma abordagem eficaz para melhorar a adesão. Esses monômeros reagem com a superfície de zircônia, promovendo uma adesão mais forte e duradoura com o cimento resinoso. Os estudos de Yavuz T, et al. (2015) e de outros autores corroboram que a aplicação de primers contendo MDP resulta em uma resistência de união consideravelmente melhorada, comparada com tratamentos mecânicos isolados.

Os tratamentos a laser, como os realizados com lasers de Er e Nd, mostram resultados variados. Papia E, et al. (2013) e Yavuz T, et al. (2015) destacam que, embora lasers como o Er possam aumentar a rugosidade da superfície e, portanto, a adesão, os efeitos não são sempre consistentes e dependem dos parâmetros de aplicação. O estudo de Kumar R, et al. (2023) reforça que, enquanto os lasers podem ser eficazes, eles

frequentemente não superam métodos tradicionais como o jateamento com Al_2O_3 ou o revestimento com sílica em termos de resistência ao cisalhamento. Bitencourt S, et al. (2021) adicionam que, entre os lasers estudados, o Yb demonstrou um desempenho superior, com uma rugosidade superficial benéfica e uma adesão melhorada, embora a variação nos resultados sugira que mais pesquisas são necessárias para padronizar o uso de lasers na prática clínica.

O plasma não térmico tem surgido como uma alternativa promissora aos métodos convencionais. Valverde GN, et al. (2013) mostraram que o plasma não térmico pode aumentar a energia superficial da zircônia, equiparando-se ao jateamento com Al_2O_3 em termos de resistência de adesão. Esse método apresenta vantagens em termos de menor invasividade e potencial para melhorar a adesão de maneira eficaz.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão destaca a complexidade envolvida na otimização da resistência de adesão em cerâmicas de zircônia, enfatizando a importância de protocolos bem definidos. Embora a abrasão por partículas aerotransportadas, como o jateamento com Al_2O_3 , seja amplamente eficaz, o cuidado com possíveis danos estruturais exige diretrizes precisas quanto ao tamanho das partículas. A silicatização triboquímica surge como uma alternativa valiosa, proporcionando melhorias na adesão através de alterações na topografia superficial e interação química com monômeros fosfatados, como o MDP. O tratamento a laser, apesar de promissor para aumentar a rugosidade superficial, carece de protocolos padronizados que permitam comparações diretas e consistência nos resultados. A combinação de tratamentos mecânicos e químicos, incluindo o uso de primers MDP, parece ser a abordagem mais robusta para maximizar a adesão. No entanto, a falta de protocolos fixos e as limitações observadas, especialmente com lasers e ácido fluorídrico, evidenciam a necessidade de mais pesquisas para otimizar esses procedimentos e garantir melhores resultados na prática odontológica.

REFERÊNCIAS

1. ABDULLAH AO, et al. Effect of repeated laser surface treatments on shear bond strength between zirconia and veneering ceramic. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2020, 123(2):338. e1–6.
2. ATOCHE-SOCOLA KJ, et al. Microshear bond strength of dual-cure resin cement in zirconia after different cleaning techniques: an in vitro study. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 2021; 13(4): 237.
3. BITENCOURT S, et al. 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*. 2021;21(2):125.
4. DEEB JG, et al. Evaluation of Er:YAG and Er,Cr:YSGG laser irradiation for the debonding of prefabricated zirconia crowns. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 2021 ;30(1):7–15.
5. FUSHIKI R, et al. Long-term Bond Strength between Layering Indirect Composite Material and Zirconia Coated with Silica based Ceramics. *The Journal Of Adhesive Dentistry*, 2015; 17(3):273–81.
6. GOYATA F, et al.. Effect of surface treatments with acid solutions on the surface roughness of an Yttrium-Tetragonal Zirconia Polycrystal. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 2018; 1.
7. GRASEL R, et al. Effect of Resin Luting Systems and Alumina Particle Air Abrasion on Bond Strength to Zirconia. *Operative Dentistry*. 2018; 1;43(3):282–90.
8. KUMAR R, et al. Effect of Surface Treatment of Zirconia on the Shear Bond Strength of Resin Cement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Curêus*, 2023; 15(9):e45045
9. PAPIA E, et al. Bonding between oxide ceramics and adhesive cement systems: A systematic review. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 2013;102(2):395–413.
10. PERDIGÃO J, et al. Effect of Artificial Aging and Surface Treatment on Bond Strengths to Dental Zirconia. *Operative Dentistry*, 2013; 38(2): 168–76.
11. RUSSO DS, et al. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning Methods and Bonding Materials. *Dentistry Journal*. 2019; 7(3): 74.

12. SAADE J, et al. Effect of different combinations of surface treatment on adhesion of resin composite to zirconia. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 2019; 11:119–29.
13. SAADE J, et al. Evaluation Of The Effect Of Different Surface Treatments, Aging And Enzymatic Degradation On Zirconia-Resin Micro-Shear Bond Strength. *Clinical, Cosmetic And Investigational Dentistry*, 2020; 12:1-8.
14. SAMIMI P, et al. Effect of adhesive resin type for bonding to zirconia using two surface pretreatments. *J Adhes Dent*, 2015; 17(4): 353-359
15. TANIŞ MÇ, et al. Effect of selective infiltration etching on the bond strength between zirconia and resin luting agents. *Journal Of Esthetic And Restorative Dentistry*, 2018; 31(3):257–262.
16. TZANAKAKIS EGC, et al. Is there a potential for durable adhesion to zirconia restorations? A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2016; 115(1):9–19.
17. VALVERDE GB, et al. Surface characterisation and bonding of Y-TZP following non-thermal plasma treatment. *Journal of Dentistry*, 2013; 41(1):51–59.
18. YAVUZ T, et al. Effect of Different Surface Treatments on Porcelain-Resin Bond Strength. *Journal of Prosthodontics*; 2015; 26(5): 446–454.
19. ZAHRAN M, et al. Fracture load of ultrathin occlusal veneers: Effect of thickness and surface conditioning. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 2023; 145: e106030.
20. ZENS MA, et al. A new approach for Y-TZP surface treatment: evaluations of roughness and bond strength to resin cement: evaluations of roughness and bond strength to resin cement. *Journal Of Applied Oral Science*, 2019; 27: 1-8.