



RESISTÊNCIA ADESIVA DE RESTAURAÇÕES BIOLÓGICAS POSTERIORES SUBMETIDAS À MICROTRAÇÃO

ADHESIVE STRENGTH OF POSTERIOR BIOLOGICAL RESTORATIONS SUBMITTED TO MICROTRACTION

Lilian Capanema Nogueira¹, Larissa Doalla de Almeida e Silva^{2*}, Nayara Kelly Lyrio Ferraz¹, Karine Taís Aguiar Tavano³, Adriana Maria Botelho³

¹Doutora em Odontologia pela Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG);

²Doutora em Clínica Odontológica pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina (MG), Brasil;

³Docente do departamento de Odontologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina (MG), Brasil.

***Autor correspondente:**
Larissa Doalla de Almeida e Silva – **Email:**
larissa.doalla@ufvjm.edu.br

Recebido: 18 dez. 2024

Aceito: 22 mar. 2025

Editores-chefes: Dr. Leonardo Pestillo de Oliveira e Dr. Mateus Dias Antunes

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.



RESUMO: Este estudo avaliou a resistência adesiva de restaurações biológicas comparadas com restaurações convencionais de porcelana. 24 coroas de terceiros molares extraídas e alisadas foram divididas aleatoriamente em grupo controle (n = 12; restaurações de porcelana) e grupo experimental (n = 12, restaurações biológicas). Restaurações biológicas foram confeccionadas a partir de fragmentos dos dentes e coroas de porcelana e coladas com resina composta. Após 24 horas, os dentes foram submetidos a ciclos térmicos e à microtração. A análise da fratura foi realizada com lupa estereoscópica; as amostras foram caracterizadas por MEV. A análise dos dados foi realizada com o teste t de Student e o teste qui-quadrado ($p \leq 0,05$). Houve diferença significativa quanto ao tipo de fratura ($p = 0,015$), com taxa de fratura adesiva de 75% no grupo experimental. As restaurações biológicas constituem uma opção viável para o restabelecimento da função e estética em dentes posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: Adesividade. Desgaste de Restauração Dentária. Estresse mecânico.

ABSTRACT: This study evaluated the adhesive strength of biological restorations compared to conventional porcelain restorations through a microtraction test and fracture areas evaluation. 24 recently extracted and planed third molar crowns were randomly divided into a control (n = 12; porcelain restorations) and an experimental group (n = 12, biological restorations). Biological restorations were made from fragments of the teeth and porcelain crowns with the same dimensions using composite resin. After 24 hours, the teeth were submitted to thermal cycles and to microtraction. Fracture analysis was performed with a stereoscopic magnifying glass; samples were characterized by SEM. Data analysis was performed with the Student's t-test and the chi-squared test ($p \leq 0.05$). A significant difference was found regarding the type of fracture ($p = 0.015$), with adhesive fracture rate of 75% in the experimental group. Biological restorations constitute a viable option for the re-establishment of function and esthetics on posterior teeth.

KEYWORDS: Adhesion. Dental Restoration Wear. Mechanical stress.

INTRODUÇÃO

Por muitos anos, a odontologia restauradora vem evoluindo e buscando soluções mais estéticas para satisfazer as necessidades pessoais dos pacientes.¹ O uso de resinas compostas e a evolução de sistemas adesivos associados à técnica de ataque ácido do esmalte e da dentina permitem tratamentos restauradores estéticos mais conservadores.^{2,3}

Embora o material restaurador dentário tenha alcançado um alto nível de desenvolvimento e estabilidade, nenhum material na odontologia restauradora pode substituir completamente os requisitos que restabelecem a perda da estrutura dentária em termos de estética, propriedades mecânicas e biológicas.^{4,5} Portanto, uma técnica alternativa envolve a colagem de fragmentos ("Restauração Biológica"), que, quando bem planejada, tem várias vantagens sobre restaurações indiretas usando compostos de resina ou porcelana. Esta técnica restabelece a forma, a função, a estética, o alinhamento e o contorno, o brilho, a lisura da superfície e o desgaste fisiológico natural, e pode ser considerada uma técnica relativamente simples, conservadora e barata. Outra vantagem das restaurações biológicas envolve o paciente recuperar seu bem-estar emocional e a sensação de ter seus dentes saudáveis de volta.^{1,4}

O termo restauração biológica foi proposto por Santos e Bianchi em 1991⁶ e se refere a uma técnica restauradora que utiliza um fragmento de um dente extraído como material restaurador. Esta técnica pode ser usada em dentes anteriores e posteriores e o fragmento dentário pode ser obtido do próprio dente fraturado ou de um dente extraído do próprio paciente, colagem autógena, ou de um dente doado, colagem homogênea.^{6,7}

Uma análise crítica da literatura confirmou apenas um conjunto de relatos de casos que envolveram o uso de colagem de fragmentos, particularmente na região posterior^{1,4,8-10} e um estudo relatou o uso de restauração biológica em dentes posteriores primários.¹¹ Vários motivos suportam o uso de restaurações biológicas. Diferentemente de compostos de porcelana ou resina, o esmalte e a dentina interagem normalmente com o meio bucal, com constantes trocas iônicas nos processos de desmineralização e remineralização.⁷ As excelentes propriedades biomecânicas da junção amelodentinária podem desviar fissuras severas no esmalte por considerável deformação plástica e substancial e duradoura resistência à tração, possibilitando sinergia entre esmalte e dentina.¹²

Na ausência de dados clínicos longitudinais e ensaios clínicos, sabe-se que dados laboratoriais (in vitro) auxiliam a prever o desempenho de diferentes materiais na cavidade bucal e a sugerir hipóteses para estudos técnicos mais adequados para cada caso. Devido à escassez de estudos científicos que comprovem a eficiência laboratorial e clínica das "Restaurações biológicas", o presente estudo teve como objetivo utilizar o teste de microtração para comparar a resistência de adesão de restaurações biológicas após cimentação em substrato dentinário com restaurações cerâmicas estéticas convencionais, bem como caracterizar a área de fratura.

MÉTODOS

ASPECTOS ÉTICOS

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, número de aprovação 095/12.

CÁLCULO DO TAMANHO AMOSTRAL

O cálculo do tamanho amostral foi realizado a partir de um estudo piloto, admitindo-se nível de confiança de 95%, o desvio padrão de 4,9¹³ e a diferença de 1,4 pontos entre os grupos, perfazendo-se um total de 24 dentes para o estudo.

SELEÇÃO E LIMPEZA DOS DENTES

Foram selecionados 24 dentes terceiros molares humanos hígidos, recém-extraídos. Previamente à manipulação, os dentes foram armazenados por uma semana em solução de formalina 10%^{14,15} para esterilização e mantidos em água destilada até o momento de sua utilização. Inicialmente, os dentes foram limpos com curetas periodontais e posteriormente, polidos, em baixa rotação (Dentflex, Ribeirão Preto, SP, Brasil), com escova de Robinson associada a uma pasta de pedra pomes e água.

PREPARO DOS DENTES

Os dentes selecionados foram aleatoriamente divididos em dois grupos (n=12), sendo um grupo controle (Sistema Cerâmico IPS e.max ZirPress) e um grupo experimental (Restaurações Biológicas). Após a esterilização e limpeza, cada dente foi seccionado transversalmente em cortadeira metalográfica de precisão (ELSAW, ELQUIP, São Carlos, SP, Brasil) utilizando disco de alta concentração de diamante (Buehler, São Paulo, Brasil), sob constante irrigação com água destilada. Foram realizados dois cortes sendo o primeiro para a remoção das cúspides e planificação da superfície remanescente e o segundo para obtenção de discos de dentina com 2,0 mm de espessura (Fig. 1A), que foram utilizados como restauração definitiva (Fig. 1B).

Para o grupo controle os discos de dentina resultantes do corte oclusal foram descartados e em seguida os remanescentes dentários foram moldados com silicone de adição (3M EXPRESS XT, Sumaré, SP, Brasil) para confecção dos troquéis com gesso pedra especial tipo IV (Herostone - Vigodent, Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Os troquéis foram enviados ao laboratório para a confecção das pastilhas cerâmicas IPS e.max ZirPress (Ivoclar Vivadent, Barueri, SP, Brasil) que foram padronizadas com 2,0 mm de espessura (Fig. 1C).



Figura 1. Dente seccionado transversalmente para obtenção de disco de dentina com 2,0 mm de espessura (A), fragmento biológico (B) e pastilha cerâmica (C). Fonte: Os autores.

PROCEDIMENTOS RESTAURADORES

Iniciou-se a sequência dos procedimentos restauradores realizados por meio de quatro blocos aleatorizados (n=6). Todos os remanescentes dentários receberam a mesma forma de tratamento do substrato, assim como os fragmentos biológicos. Realizou-se a profilaxia das superfícies com pasta de pedra pomes e água, utilizando-se escova de Robinson em baixa rotação. Posteriormente, foi realizado o condicionamento ácido com ácido fosfórico a 37% (Condac FGM, Joinville, SC, Brasil) da superfície oclusal remanescente e dos fragmentos biológicos obtidos para o grupo experimental, sendo 15 segundos em dentina e 30 segundos em esmalte, seguido de enxague durante 30 segundos e secagem com papel absorvente. Imediatamente após a secagem, foram aplicadas duas finas camadas consecutivas do adesivo Adper Single Bond 2 (3M ESPE, Sumaré, SP, Brasil) à superfície condicionada, secagem com leves jato de ar por 5 segundos para evaporação do solvente e fotoativação por 20 segundos (Ultraled; Dabi Atlante, Ribeirão Preto, SP, Brasil).

As pastilhas cerâmicas IPS e.max ZirPress foram condicionadas com ácido fluorídrico a 10% (DENTSPLY, Petrópolis, RJ, Brasil) por 4 minutos, de acordo com a recomendação do fabricante. Subsequentemente foram lavadas por 30 segundos e secadas com leves jatos de ar durante 5 segundos, para posterior aplicação de duas camadas do agente de união silano primer/ativador (DENTSPLY, Petrópolis, RJ, Brasil) e novamente secas com leves jatos de ar durante 5 segundos após cada aplicação.

Para cimentação das pastilhas cerâmicas e dos fragmentos biológicos foi utilizado o cimento resinoso dual RelyX ARC (3M ESPE Dental Products. ST. Paul, MN, USA). Uma fina camada foi aplicada sobre a face interna de cada pastilha cerâmica e do fragmento biológico, sendo, então, posicionados sobre a superfície oclusal correspondente e mantidos por 30 segundos sob leve pressão digital, simulando as condições clínicas. Os excessos foram removidos com auxílio de uma sonda exploradora a partir das margens e fotoativados por 40 segundos em cada face. Posteriormente, os dentes restaurados foram imersos em água destilada e armazenados em estufa a $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

TERMOCICLAGEM

Decorrido este tempo, todos os dentes foram submetidos à termociclagem (MSCT/3e, Elquip, Piracicaba, SP, Brasil), totalizando 10000 ciclos, com banhos de 30 segundos nas temperaturas de 5°C , 37°C e 55°C^{10} , o que equivale a um ano de envelhecimento térmico.

ENSAIO DE MICROTRAÇÃO E ANÁLISE DA ÁREA DE FRATURA

Para confecção dos espécimes, em uma cortadeira metalográfica de precisão (ELSAW, ELQUIP, São Carlos, SP, Brasil), sob irrigação constante com água destilada, foram realizados cortes seriados no sentido méso-distal e vestibulo-lingual e paralelos ao longo eixo de cada dente restaurado, obtendo-se paralelepípedos (palitos) de aproximadamente $1,0 \times 1,0 \text{ mm}$ (Fig. 2A e B). Para os testes, foram utilizados somente os palitos que apresentavam estrutura em dentina, os palitos que apresentavam estrutura em esmalte foram descartados.

Os palitos obtidos foram fixados por suas extremidades com cola de cianoacrilato (Super Bond gel, Loctite, Henkel Corp, Brasil), nos *grips* do dispositivo de microtração Geraldelli (Dispositivo Odome Equipamentos Médicos e Odontológicos, São Carlos, SP, Brasil) e acoplados à Máquina de Ensaio Universal EZ Test - L (Shimadzu, Tokyo, Japão) (Fig. 2C). O ensaio foi conduzido a uma velocidade de $0,5 \text{ mm/min}$, utilizando-se uma célula de carga de 5 Kg até a ruptura das espécimes na interface de união

ou em sua proximidade, obtendo-se os valores de resistência à união em megapascal (MPa) de cada palito e posteriormente realizada a média dos valores dos palitos representantes de cada dente.

As áreas fraturadas resultantes foram observadas em lupa estereoscópica (SZ40, Olympus Corporation, Tokyo, Japão) com o aumento de quarenta vezes para análise do tipo de fratura ocorrido. Os tipos de fraturas foram determinados baseando-se na porcentagem de substrato livre de material, sendo classificadas em falhas adesiva, coesiva (material restaurador ou remanescente dentário) e mista. Espécimes representativos dos tipos de fratura de cada grupo foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (TM 3000 Hitachi, Japão) e espectroscopia de dispersão de energia de raios-X (EDS) (TM 3000 Hitachi, Japão). Usando feixe de elétrons de 15 a 20 kV, as superfícies foram cobertas com uma fina camada de Ouro-Paládio (Au-Pd), pelo processo *sputtering*, para permitir a transmissão de elétrons.

ANÁLISE DA NANOINFILTRAÇÃO

Para a realização do processo de nanoinfiltração foram selecionados espécimes representativos (n=2) de cada grupo, controle e experimental, que foram imersos em solução de nitrato de prata amoniacal 50% ($\text{AgNO}_3 \text{NH}_4$) e armazenados em estufa por 24 horas a $37^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Posteriormente, foram lavados em água destilada por 2 minutos para serem imersos em uma solução reveladora (Kodak – Revelador D-76 – Kodak Brasileira, Ind. E com. Ltda, São José dos Campos, São Paulo, Brasil) por 8 horas. Em seguida, foram expostos à iluminação fluorescente direta através de uma luminária e indireta através da iluminação do ambiente, para reduzir os íons de prata em grãos de prata metálica dentro dos espaços vazios ao longo da interface de união.¹⁹

Em seguida, os espécimes foram processados para a visualização em MEV dos espaços nanométricos no interior da camada híbrida. Para isso, realizou-se a inclusão destes em resina de poliestireno. Após a inclusão foram desgastados, sequencialmente, com lixas de diferentes granulações 600, 1200 e 2000 em lixadeira e politriz metalográfica (PLFDV – Fortel Ind. e Com. Ltda – São Paulo, SP, Brasil). Após desgastados, foram devidamente polidos com discos de feltro e pasta diamantada em granulação decrescente (3,1 e 0,25 μm). Entre cada granulação de lixa, os espécimes foram imersos em água destilada e colocados em ultrassom (Cuba de Ultrassom Cristófoli – Cristófoli Equipamentos de Biossegurança Ltda, Campo Mourão, PR, Brasil) por 10 min para remoção de detritos.

Posteriormente, os espécimes foram secados com papel absorvente e iniciaram-se os procedimentos de desmineralização com ácido fosfórico a 50% para remoção da matriz inorgânica dentinária e desproteinização em solução de hipoclorito de sódio a 10%. Em seguida os espécimes foram desidratados em álcool etílico em concentrações crescentes (25%, 50%, 75%, 90% e 100%) por 10 minutos em cada concentração. Finalizado o processamento, os espécimes foram revestidos com fio de carbono sob pulverização catódica em metalizadora (Leica EM SDC 500, Leica Microsystems, Suíça) e fixados em *stubs* para observação em MEV (Quanta FEG 200, FEI, 2006, Oregon, USA), operando em alto vácuo numa potência de 20 kV, no qual foram obtidas imagens em elétrons retroespalhados.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram tabulados utilizando-se o Software Statistical Package for Social Science (SPSS for Windows, version 20.0; SPSS Inc., Chicago, Ill., USA), submetidos à análise estatística para comparação entre os grupos controle e experimental em relação à resistência à adesão e os tipos de fratura. A resistência à adesão foi relacionada com a força/área (MPa) aplicada aos espécimes. Esses

dados revelaram distribuição normal (teste de Shapiro-Wilk) e semelhante variância (teste de Levene). Assim, foi utilizado o teste paramétrico Teste-t de Student ($p > 0,05$) para espécimes independentes com o objetivo de determinar a ocorrência de diferenças na resistência à união entre os grupos.

O teste do qui-quadrado foi utilizado para determinar a associação entre a variável dependente, tipo de material restaurador, a variável independente e o padrão de fratura.

RESULTADOS

Embora havendo diferença nos valores de resistência à adesão em megapascal (MPa), obtidos no ensaio de microtração (Tabela 1), não houve diferença estatisticamente significativa entre sistema cerâmico e restauração biológica ($p = 0,136$).

Tabela 1. Média de resistência à microtração, desvio padrão e valor de p de acordo com o material restaurador.

| Tipo de material restaurador | N | Resistência à adesão (MPa) Média | Desvio Padrão | P |
|------------------------------|----|----------------------------------|---------------|--------------------|
| Sistema Cerâmico | 12 | 12,15 | 1,68 | 0,136 [†] |
| Restauração Biológica | 12 | 10,22 | 3,99 | |

[†] Teste t de Student para amostras independentes. Fonte: Os autores.

Com relação aos tipos de fraturas ocorridos nos grupos testados houve uma diferença estatisticamente significativa ($p = 0,015$) com predomínio de fraturas mistas (75,0%) no grupo controle e fraturas adesivas (75,0%) no grupo experimental (Tabela 2).

Tabela 2. Tipos de fraturas de acordo com o material restaurador.

| Tipo de fratura | Tipo de restauração | | P |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|
| | Sistema Cerâmico n (%) | Restauração Biológica n (%) | |
| Adesiva | 2 (16,7) | 9 (75,0) | 0,015 ^c |
| Coesiva | 1 (8,30) | 0 (0,00) | |
| Mista | 9 (75,0) | 3 (25,0) | |

^c Teste chi-square ($p \leq 0,05$). Fonte: Os autores.

As micrografias de MEV representativas dos espécimes analisados por microscopia de luz mostraram uma fina camada do adesivo sobre a superfície da dentina dos remanescentes dentários de ambas as restaurações, sugerindo o tipo de fratura adesiva (Fig. 2A e B). Espectro de EDS da superfície de dentina (Fig. 2a e b) detectou picos elevados de cálcio (Ca) e fósforo (P) correspondentes à estrutura dentária e picos de silício (Si) correspondente à carga inorgânica do sistema adesivo monocomponente.

Fratura coesiva do material restaurador foi observada apenas para a restauração cerâmica (Fig. 3A). O espectro de EDS apresentou picos de zircônia (Zr) e Si, além de picos de baixa intensidade de potássio (K) correspondentes à estrutura cerâmica (Fig 3a).

A fratura mista da restauração biológica (Fig. 4A) apresentou picos de Ca, P e Si (Fig. 4a e b). A análise de EDS da fratura mista em cerâmica (Fig. 4B) apresentou espectro com picos de Ca, P, Zr, Si e K (Fig. 5c e d). Picos de ouro e paládio, provenientes da metalização, não foram identificados nos espectros de EDS.

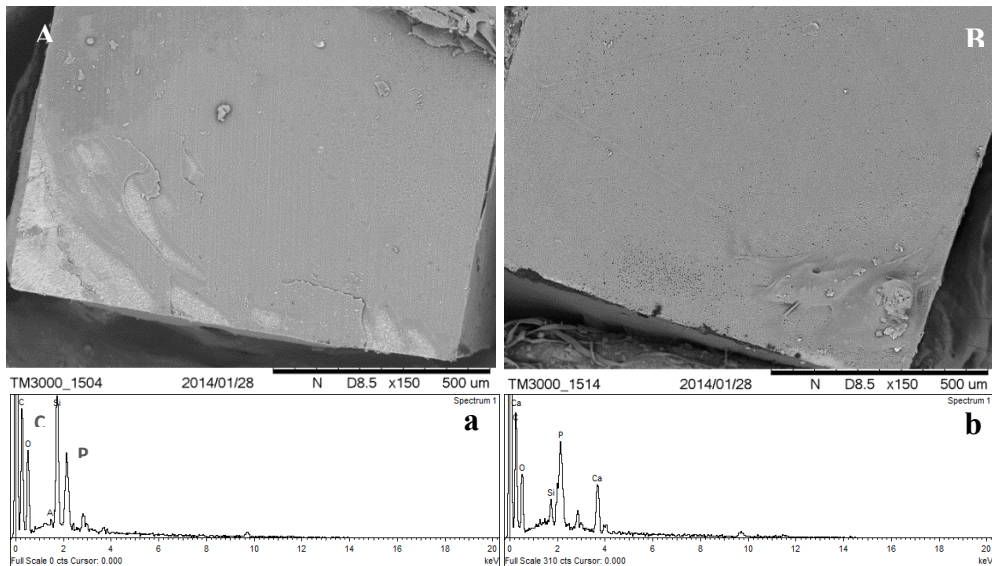


Figura 2. Imagem de MEV da área de fratura adesiva da restauração biológica (A) e cerâmica (B) e respectivos espectros de EDS das áreas de fratura na estrutura dentária (a) e (b). Fonte: Os autores.

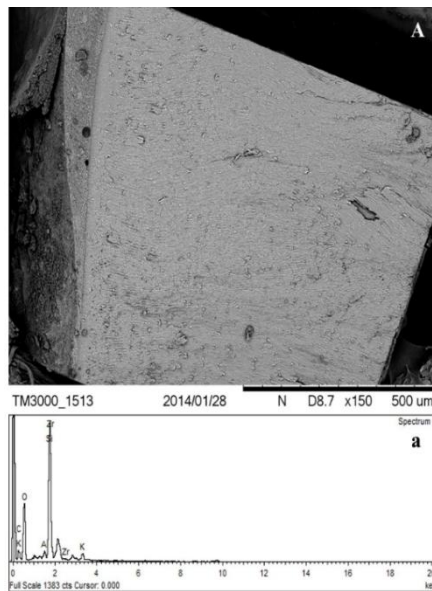


Figura 3. Imagem de MEV da área de fratura coesiva do material restaurador em cerâmica (A) e espectro de EDS da área de fratura da estrutura cerâmica (a). Fonte: Os autores.

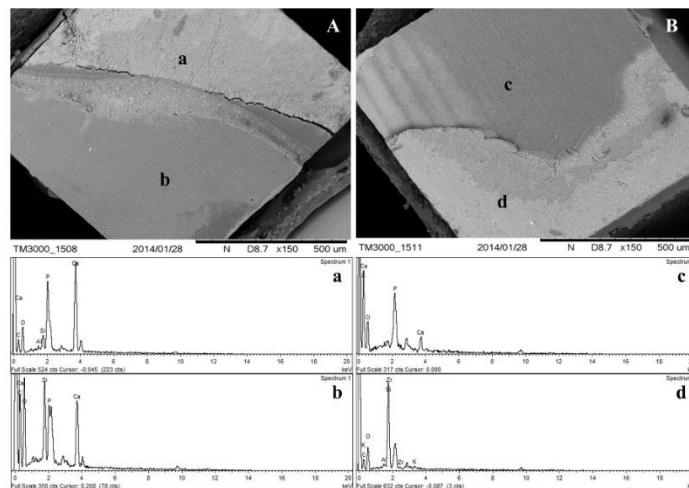


Figura 4. Imagem de MEV da área de fratura mista da restauração biológica (A) e cerâmica (B) e respectivos espectros de EDS das áreas de fratura (a), (b), (c) e (d). Fonte: Os autores.

Extensa expressão de nanoinfiltração foi encontrada na interface adesiva da camada híbrida e em menor quantidade nos túbulos dentinários para o grupo restauração cerâmica (Fig. 5A). Comparativamente houve uma menor expressão de nanoinfiltração ao longo da camada híbrida e maior presença nos túbulos dentinários revelado pelo grupo restauração biológica (Fig. 5B).

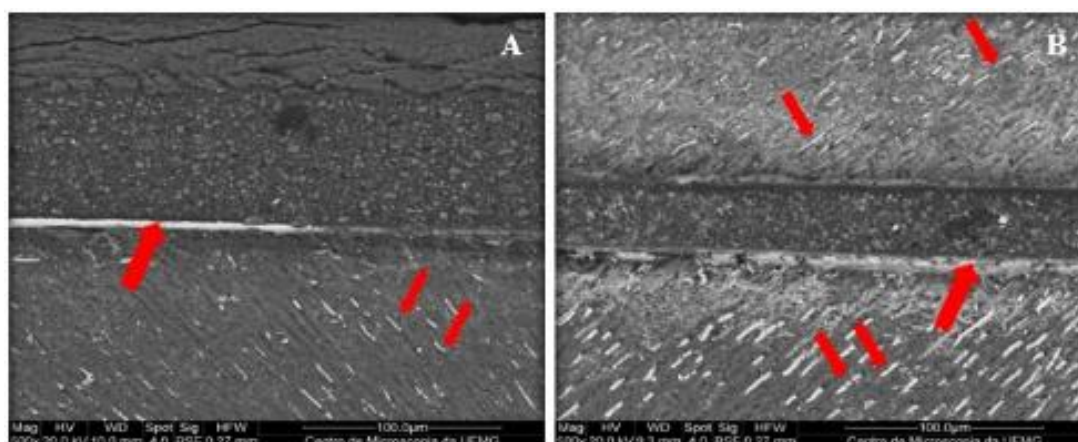


Figura 5. Imagens de MEV representativas do grupo das restaurações cerâmicas (A) mostrando extensa expressão de nanoinfiltração na interface de união da camada híbrida e em menor quantidade no interior dos túbulos dentinários. E restaurações biológicas (B) mostrando menor nanoinfiltração ao longo da camada híbrida e maior no interior dos túbulos dentinários. Fonte: Os autores.

DISCUSSÃO

No presente estudo, ambos os grupos apresentaram força de adesão semelhante. No entanto, em relação ao padrão das fraturas, houve diferença entre os grupos. O valor de força de adesão encontrado no presente estudo foi menor do que os valores encontrados na literatura, que variam de 12,94 Mpa a 49,8 Mpa para restaurações cerâmicas à base de zircônia.^{16,17} A divergência entre os valores encontrados pode ser explicada pela baixa concentração de zircônia na composição das cerâmicas utilizadas e pela tensão residual introduzida durante a preparação de cada espécime.¹⁶ Portanto, as diferentes marcas de cerâmica podem ter rugosidade superficial diferente, uma vez que a duração e o tamanho das partículas do jateamento afetam a rugosidade da zircônia.¹⁸ No entanto, nenhum estudo anterior foi realizado para avaliar a força adesiva de restaurações biológicas, o que dificulta uma comparação direta dos valores de microtração em relação a outros materiais restauradores.

A força de adesão entre o material de adesão restaurador e o substrato dentário é comumente avaliada por ensaios laboratoriais micromecânicos. O ensaio de microtração permite uma melhor distribuição de tensão e menos erros coesivos no substrato.¹⁹ De acordo com o estudo realizado, as fraturas foram predominantemente mistas no grupo controle, semelhante aos resultados de estudos anteriores^{16,20,21} possivelmente devido à maior adesão entre o cimento resinoso e a superfície cerâmica. No entanto, o resultado encontrado no presente estudo foi o oposto dos relatados em estudos anteriores^{22,23} nos quais as falhas adesivas foram predominantes. As fraturas mistas foram caracterizadas pela presença de espectros de EDS com picos de Ca e P provenientes da estrutura dentária e de Zr e Si referentes à composição química das cerâmicas utilizadas.

Em relação ao grupo de restauração biológica, houve maior percentual de fraturas adesivas, confirmadas pela presença de Ca e P na análise elementar (EDS) da superfície de fratura dos dentes remanescentes, provenientes da estrutura dentinária. A maior porcentagem de fraturas adesivas pode

ser explicada pela composição orgânica e umidade contida nos túbulos dentinários, bem como pelo fato de ser um substrato mais elástico que a cerâmica utilizada.²⁴ As consequências clínicas das falhas que podem ocorrer dependem da localização na interface de união. Quando a falha ocorre entre a camada híbrida e a camada do agente cimentante, a dentina pode permanecer selada e protegida, minimizando o risco de desmineralização, invasão bacteriana, dentes sensíveis e irritação pulpar.²⁵

Um dos objetivos das restaurações dentárias é reabilitar a estética e a função, preservando a maior quantidade possível da estrutura dentária remanescente. Assim, o material restaurador deve promover o selamento da dentina exposta, impedindo a passagem de fluidos e bactérias que causam recidiva de cáries e danos pulpares.^{26,27} A longevidade dos procedimentos restauradores está associada à obtenção de uma adaptação perfeita, entre outros fatores, e à formação de uma união estável e duradoura entre o material restaurador e a estrutura dentária. Isso previne e/ou minimiza os processos de microinfiltração e, conseqüentemente, manchas, lesões cariosas recorrentes e sensibilidade.²⁷

O presente estudo analisou a qualidade da interface adesiva de restaurações cerâmicas e biológicas observando nanoinfiltração na interface de adesão, caracterizada pela infiltração de íons nitrato de prata através de porosidades submicrométricas na camada híbrida que não foram adequadamente preenchidas pelo adesivo, ou onde o adesivo foi mal polimerizado.²⁸ Esta região representa um ponto fraco, o que permite a introdução de enzimas, bactérias e fluidos orais na interface, degradando assim a adesão.²⁷ As porosidades resultantes são muito pequenas para a penetração de bactérias, mas são grandes o suficiente para a penetração de enzimas.²⁸

Recentemente, foi observado que metaloproteínases da matriz extracelular, ou enzimas capazes de degradar o colágeno da dentina, estão naturalmente presentes na estrutura do complexo dentinário pulpar. Essas enzimas podem ser ativadas pela queda do pH causada pelo tratamento da superfície com primer e adesivo ou pela bioquímica do processo carioso, levando a uma maior degradação das fibras de colágeno e a um maior risco de nanoinfiltração.²⁹

No presente estudo, foi possível confirmar a expressão da nanoinfiltração interfacial em ambos os grupos por meio da análise de MEV. Depósitos de nitrato de prata foram encontrados ao longo da interface adesiva e dos túbulos dentinários, demonstrando que a qualidade da camada híbrida é essencial para a longevidade do processo restaurador.³⁰ Esse tipo de infiltração permite a observação da localização da falha na interface adesiva e o entendimento de como ocorre a degradação do adesivo ao longo do tempo.²⁸

Embora as “restaurações biológicas” tenham apresentado características semelhantes às restaurações cerâmicas em termos de força de adesão, mais estudos laboratoriais e clínicos devem ser desenvolvidos para avaliar seu desempenho e outras propriedades com maior precisão.

O uso de restaurações biológicas como técnica restauradora pode ser considerado viável, pois podem restabelecer os aspectos estéticos e funcionais sem custos laboratoriais. Elas são uma opção para muitos pacientes, principalmente quando se foca no custo-benefício. A técnica apresenta resultados altamente satisfatórios por meio de procedimentos conservadores, simples e que podem ser realizados pelo profissional. Elas também fornecem mais uma opção para a restauração de dentes com extensa destruição coronária.

CONCLUSÃO

Considerando as limitações do presente estudo e de acordo com os testes aplicados, é possível concluir que as restaurações biológicas apresentam características semelhantes, em termos de força de

adesão, às restaurações cerâmicas e, portanto, podem ser indicadas como uma alternativa para o restabelecimento estético e funcional de dentes com extensa destruição.

REFERÊNCIAS

1. Botelho AM, Tavano KT, Souza LT, Cabral PT, Sales MA. Crown total made by the technique of biological restoration. *International Journal of Brazilian Dentistry*, 2009; 5: 284-292.
2. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*, 1955; 34(6):849-853. <https://doi.org/10.1177/00220345550340060801>.
3. Carvalho, GAO, Ribeiro, AOP, Câmara, JVF & Pierote, JJA. Dental fragment bonding as a technique in oral rehabilitation: literature review. *Research, Society and Development*, 2020; 9(7): 1-1. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4567>.
4. Tavano KT, Botelho AM, Motta TP, Paes TM. 'Biological restoration': total crown anterior. *Dental Traumatology*, 2009; 25(5):535-540. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2009.00766.x>
5. Rao DG, Havale R, Karobari NM, Latha AM, Nagaraj M, Tharay N, Shruitha SP. Acceptance or rejection of biological restoration: An educational interventional study. *J Family Med Prim Care*, 2020; 9(2):1170-1176. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_955_19.
6. Santos J, Bianchi J. Restoration of severely damaged teeth with resin bonding systems: case reports. *Quintessence Int*, 1991; 22(8):611-5.
7. Menezes-Silva R, Botelho LP, Botelho AM, Tavano, KTA. Biological restoration in permanent tooth: four-year follow-up. *Braz Dent Sci*, 2018; 21(1):126. <https://doi.org/10.14295/bds.2018.v21i1.1454>.
8. Corrêa-Faria P; Alcântara CEP; Caldas-Diniz M V.; Botelho AM.; Tavano KT. "Biological Restoration": Root Canal and Coronal Reconstruction. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 2010; 22:168-178. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2010.00331.x>.
9. Botelho AM, Tavano KT, Correa-Faria P, Morato LN, Viana MR. Esthetic-functional recovery of permanent posterior tooth using autogenous biological restoration. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 2012; 30(4):333-6. <https://doi.org/10.4103/0970-4388.108934>.
10. Vijayaprabha K, Marwah N, Dutta S. A biological approach to crown fracture: Fracture reattachment: A report of two cases. *Contemporary Clinical Dentistry*, 2012; 3:S194-8. <https://doi.org/10.4103/0976-237x.101091>.
11. Singh P, Srivastava N, Rana V, Kaushik N. Clinical Evaluation of Restoration of Grossly Carious Primary Teeth Using Biological Approach. *Int J Clin Pediatr Dent*, 2020; 13(1):S55-S63. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1870>.
12. Carvalho MF, Botelho AM, Tavano KT, Fernandes VC. Biological restoration: A 4/5 crown. *Journal of the Indian Society of Pedodontics Preventive Dentistry*. 2013; 31(4):282-5. <https://doi.org/10.4103/0970-4388.121834>.
13. Ali AM, Hamouda IM, Ghazy MH, Abo-Madina MM. Immediate and delayed micro-tensile bond strength of different luting resin cements to different regional dentin. *Journal of Biomedical Research*, 2013; 27(2):151-158. <https://doi.org/10.7555/jbr.27.20120028>.
14. Lee JJ, Nettey-Marbell A, Cook JRA, Pimenta LAF, Leonard R, Ritter AV. Using Extracted Teeth for Research. The Effect of Storage Medium and Sterilization on Dentin Bond Strengths. *Journal of the American Dental Association*, 2007; 138(12):1599-603. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2007.0110>.
15. Attam K, Talwar S, Yadav S, Miglani S. Comparative analysis of the effect of autoclaving and 10% formalin storage on extracted teeth: A microleakage evaluation. *Journal of Conservative Dentistry*, 2009; 12(1):26-30. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.53338>.
16. Harding AB, Norling BK, Teixeira EC. The effect of surface treatment of the interfacial surface on fatigue-related microtensile bond strength of milled zirconia to veneering porcelain. *Journal of Prosthodontics*, 2012; 21(5):346-352. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2012.00843.x>.
17. Polat S, Tokar E, Asar NV, Kirmali O. Evaluation of Efficacy of Various Surface Conditioning Methods on the Repair Bond Strength of Composite to Different Fracture Types of Zirconia Ceramics. *Scanning*, 2021; 2021:5537761. <https://doi.org/10.1155/2021/5537761>.

18. Cheng CW, Yang CC, Yan M. Bond strength of heat-pressed veneer ceramics to zirconia with various blasting conditions. *J Dent Sci*, 2018; 13(4):301-310. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2018.03.002>.
19. Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, Fernandes CA, Tay F. The microtensile bond test: a review. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 1999; 1(4):299-309.
20. Amaral R, Ozcan M, Valandro LF, Balducci I, Bottino MA. Effect of conditioning methods on the microtensile bond strength of phosphate monomer-based cement on zirconia ceramic in dry and aged conditions. *Journal of Biomedical Materials Research B Applied Biomaterials*, 2008; 85(1):1-9. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30908>.
21. Valandro LF, Ozcan M, Amaral R, Vanderlei A, Bottino MA. Effect of testing methods on the bond strength of resin to zirconia-alumina ceramic: microtensile versus shear test. *Dental Materials Journal*, 2008; 27(6):849-855. <https://doi.org/10.4012/dmj.27.849>.
22. Della Bona A, Anusavice KJ, Mecholsky Jr JJ. Failure analysis of resin composite bonded to ceramic. *Dental Materials*, 2003; 19:693-699. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(03\)00015-0](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(03)00015-0).
23. Erdem A, Akar G, Erdem A, Kose T. Effects of Different Surface Treatments on Bond Strength Between Resin Cements and Zirconia Ceramics. *Operative Dentistry*, 2013; 39(3):E118-27. <https://doi.org/10.2341/12-420-l>.
24. Al-Ehaideb A, Mohammed H. Shear bond strength of "one 2. bottle" dentin adhesives. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2000; 84(4): 408-412. <https://doi.org/10.1067/mpr.2000.110256>.
25. Perdigão J. Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dental Materials*, 2010; 26(2):24-37. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.11.149>.
26. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, Van Meerbeek B. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *Journal of Dental Research*, 2005; 84(2):118-32. <https://doi.org/10.1177/154405910508400204>.
27. Zhou W, Liu S, Zhou X, Hannig M, Rupf S, Feng J, Peng X, Cheng L. Modifying Adhesive Materials to Improve the Longevity of Resinous Restorations. *Int J Mol Sci*, 2019; 20(3):723. <https://doi.org/10.3390/ijms20030723>.
28. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, Pashley DH. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent*, 1995; 20(1):18-25.
29. Paik Y, Kim JH, Yoo KH, Yoon SY, Kim YI. Dentin Biomodification with Flavonoids and Calcium Phosphate Ion Clusters to Improve Dentin Bonding Stability. *Materials (Basel)*, 2022; 15(4):1494. <https://doi.org/10.3390/ma15041494>.
30. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A Jr, Cadenaro M, Di Lenarda R, Dorigo E. Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. *Dental Materials*, 2008; 24: 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.02.009>.