

Joatan Lucas de Sousa Gomes Costa

**Avaliação de protocolos de limpeza de superfície dentinária
impregnada por cimento biocerâmico e sua influência na
interface de adesão**

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de
Odontologia de Araraquara.

Supervisor(a): Milton Carlos Kuga

CNPq - Processo nº 150549/2024-5

Araraquara

2026

RESUMO

O estágio pós-doutoral teve como objetivo avaliar a influência de diferentes protocolos de limpeza sobre superfícies dentinárias previamente impregnadas com o cimento biocerâmico BioRoot RCS e seus efeitos na interface adesiva em dentina coronária e radicular. Foram conduzidos dois experimentos utilizando incisivos bovinos, nos quais foram comparados diferentes protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico, incluindo água destilada, etanol a 95%, acetato de amila, acetona e uma solução experimental. As amostras foram submetidas à análise da persistência de resíduos e da incidência de túbulos dentinários abertos por microscopia eletrônica de varredura, além da avaliação da resistência de união, padrão de falha adesiva e formação de tags resinosos por meio de ensaios mecânicos e microscopia confocal. Também foram investigados dois sistemas adesivos, representando as estratégias convencional (condiciona-e-lava) e autocondicionante. Os resultados demonstraram que os protocolos de limpeza influenciaram a remoção dos resíduos do cimento biocerâmico, sendo água destilada e etanol a 95% mais eficientes na limpeza superficial da dentina quando comparados aos demais protocolos avaliados. Apesar das diferenças observadas na persistência de resíduos, os protocolos apresentaram comportamento semelhante quanto à resistência de união e à formação da interface adesiva na maior parte das condições experimentais, com diferenças pontuais relacionadas ao terço apical e ao uso de acetato de amila. Observou-se predominância de falhas coesivas, indicando adequada integridade da interface adesiva formada após os diferentes tratamentos. As atividades desenvolvidas durante o estágio contribuíram para o avanço do conhecimento sobre a interação entre cimentos biocerâmicos e procedimentos adesivos, forneceram subsídios para o desenvolvimento de protocolos clínicos de limpeza da dentina previamente contaminada por materiais endodônticos e resultaram na consolidação de colaborações científicas, produção acadêmica e formação de recursos humanos.

Palavras chaves: Cimentos dentários; Adesão dentinária; Dentina; Pinos dentários; Materiais biocompatíveis.

1 INTRODUÇÃO

A reabilitação de dentes tratados endodonticamente depende da integração entre o tratamento endodôntico e os procedimentos restauradores, sendo o selamento coronário e a estabilidade da interface adesiva fatores determinantes para o sucesso clínico em longo prazo^{1,2}. Entretanto, alterações promovidas pelo tratamento endodôntico, especialmente aquelas relacionadas aos materiais obturadores, podem modificar as características do substrato dentinário e influenciar o desempenho dos procedimentos adesivos subsequentes³.

Durante a obturação do sistema de canais radiculares, o cimento endodôntico pode impregnar a dentina da câmara pulpar e permanecer aderido à sua superfície mesmo após os procedimentos de limpeza. Esses resíduos podem comprometer a infiltração dos sistemas adesivos, prejudicar a formação da camada híbrida e reduzir a resistência de união, comprometendo potencialmente o selamento coronário e a longevidade das restaurações adesivas⁴⁻⁶.

Nos últimos anos, os cimentos biocerâmicos à base de silicatos de cálcio ganharam destaque na Endodontia em razão de suas propriedades físico-químicas e biológicas favoráveis, como biocompatibilidade, bioatividade, elevada alcalinidade, liberação de íons cálcio, estabilidade dimensional e capacidade de formar hidroxiapatita na interface com a dentina. Essas características favorecem o reparo dos tecidos periapicais e a interação química com o substrato dentinário, tornando esses materiais uma alternativa promissora aos cimentos endodônticos convencionais^{3,7,8}.

Em contrapartida, a elevada bioatividade dos cimentos biocerâmicos também pode modificar as características da superfície dentinária quando resíduos permanecem aderidos após a obturação. A liberação contínua de íons cálcio e a formação de depósitos minerais podem alterar a interação entre o substrato dentinário e os sistemas adesivos, sugerindo que o comportamento desses resíduos difere daquele observado para os cimentos convencionais à base de resina epóxi^{9,10}.

Estudos recentes têm demonstrado que tanto os protocolos de limpeza da dentina quanto as estratégias de aplicação dos sistemas adesivos podem

influenciar a qualidade da interface adesiva na presença de resíduos de cimentos endodônticos. Além disso, evidências indicam que resíduos de cimentos biocerâmicos podem exercer comportamento distinto em relação aos cimentos convencionais, tornando necessária a investigação de diferentes protocolos restauradores para otimizar a adesão ao substrato dentinário ⁹⁻¹².

Embora avanços importantes tenham sido alcançados na compreensão da interação entre resíduos de cimentos endodônticos e os sistemas adesivos, ainda são escassas as evidências sobre a influência dos resíduos de cimentos biocerâmicos em diferentes protocolos restauradores e estratégias de adesão. Dessa forma, torna-se necessária a investigação de abordagens que permitam compreender o comportamento da interface adesiva frente às particularidades desses materiais, contribuindo para o desenvolvimento de protocolos restauradores mais previsíveis e duradouros.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral

- Avaliar a influência dos resíduos de cimentos endodônticos, com ênfase nos cimentos biocerâmicos, sobre a interface adesiva em dentina, bem como investigar estratégias de limpeza e protocolos restauradores capazes de otimizar a qualidade e a durabilidade da adesão após o tratamento endodôntico.

Objetivos específicos

- Avaliar a influência de diferentes protocolos de limpeza na remoção de resíduos de cimentos endodônticos e nas características morfológicas da superfície dentinária.
- Investigar o efeito de resíduos de cimentos biocerâmicos sobre a formação da interface adesiva e a resistência de união à dentina.
- Comparar diferentes estratégias de aplicação de sistemas adesivos universais em dentina impregnada por resíduos de cimentos biocerâmicos.

- Avaliar a influência de diferentes tempos de armazenamento na estabilidade da resistência de união e na integridade da interface adesiva.
- Caracterizar morfológicamente a interface adesiva formada pelos diferentes protocolos experimentais por meio de análises microscópicas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento experimental

O presente estudo *in vitro* foi desenvolvido no Departamento de Odontologia Restauradora da Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista (FOAr-UNESP), durante o estágio de pós-doutorado. O delineamento experimental foi estruturado em dois experimentos independentes, com o objetivo de avaliar a influência de diferentes protocolos de limpeza de resíduos de cimento endodôntico biocerâmico sobre a interface adesiva em dentina coronária e radicular.

Foram utilizados 200 incisivos bovinos, distribuídos de acordo com o delineamento experimental de cada estudo. No Experimento 1, foi avaliada a efetividade de diferentes protocolos de limpeza da dentina coronária previamente impregnada com o cimento biocerâmico BioRoot RCS, considerando a persistência de resíduos, a incidência de túbulos dentinários abertos, a resistência de união, o padrão de falha adesiva e a formação da interface adesiva. No Experimento 2, foram avaliados os mesmos protocolos de limpeza em dentina radicular destinada à cimentação de pinos de fibra de vidro, analisando a persistência de resíduos do cimento biocerâmico, a resistência de união do sistema de cimentação, o padrão de falha adesiva e a formação da interface adesiva ao longo do espaço preparado para pino.

Os protocolos de limpeza incluíram água destilada, etanol a 95%, acetato de amila, acetona e uma solução experimental multifuncional, sendo seus efeitos avaliados por meio de análises morfológicas em microscopia eletrônica de varredura e microscopia confocal, bem como por ensaios mecânicos de resistência de união e análise do padrão de falha, conforme descrito nas seções subsequentes.

3.2 Material biológico

Foram utilizados 200 incisivos bovinos hígidos, obtidos de animais abatidos para consumo, os quais foram empregados como substitutos da estrutura dentária humana em razão da similaridade morfológica e estrutural da dentina, bem como da ampla utilização desse substrato em estudos laboratoriais de adesão dentária. Após a obtenção, os dentes foram submetidos à limpeza para remoção de resíduos orgânicos e armazenados em água destilada sob refrigeração até sua utilização nos procedimentos experimentais.

Os espécimes foram distribuídos entre dois experimentos independentes. No primeiro, foram utilizados fragmentos de dentina coronária destinados à avaliação da influência de diferentes protocolos de limpeza de resíduos do cimento biocerâmico sobre a interface adesiva. No segundo, foram utilizadas raízes dentárias destinadas ao tratamento endodôntico, preparo do espaço para pino de fibra de vidro e posterior avaliação da interface de cimentação em dentina radicular. A distribuição dos espécimes entre os grupos experimentais foi realizada de forma aleatória, de acordo com os protocolos de limpeza estabelecidos para cada experimento.

Em ambos os experimentos, foi utilizado o cimento endodôntico biocerâmico BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, França) para impregnação da dentina, sendo posteriormente avaliados os protocolos de limpeza com água destilada, etanol a 95%, acetato de amila, acetona e solução experimental multifuncional.

3.3 Experimento 1 – Avaliação da interface adesiva em dentina coronária

O experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar a influência de diferentes protocolos de limpeza sobre a remoção de resíduos do cimento endodôntico biocerâmico BioRoot RCS previamente impregnado na dentina coronária, bem como sua repercussão na qualidade da interface adesiva formada por sistemas adesivos empregados em diferentes estratégias de aplicação. Para essa finalidade, foram avaliadas a persistência de resíduos do cimento biocerâmico, a incidência de túbulos dentinários abertos, a resistência

de união, o padrão de falha adesiva e a formação de tags resinosos na interface entre a dentina e os sistemas adesivos.

3.3.1 Preparo dos espécimes

Fragmentos de dentina coronária bovina foram obtidos a partir da região vestibular da câmara pulpar, utilizando máquina de corte de precisão sob refrigeração, produzindo espécimes com dimensões aproximadas de 5 mm de largura × 5 mm de comprimento × 3 mm de espessura. Após o preparo, os fragmentos foram submetidos à limpeza química por meio de imersão em hipoclorito de sódio a 2,5% durante 15 minutos, seguida de irrigação com água destilada, aplicação de EDTA a 17% durante 3 minutos e irrigação final com água destilada. Em seguida, os espécimes foram secos com pontas de papel absorvente para realização das etapas subsequentes.

3.3.2 Impregnação da dentina com cimento biocerâmico

Após o preparo dos espécimes, a superfície dentinária foi impregnada com o cimento endodôntico biocerâmico BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, França). O material permaneceu em contato com a dentina durante 15 minutos, período correspondente à presa inicial do cimento, simulando a contaminação da superfície dentinária por resíduos do material obturador antes da realização dos procedimentos restauradores. Após esse período, procedeu-se à remoção dos resíduos de acordo com os diferentes protocolos de limpeza avaliados.

3.3.3 Protocolos de limpeza

Os espécimes foram distribuídos de acordo com os protocolos de limpeza avaliados: água destilada (ADCo), etanol a 95% (95Et), acetato de amila (AcAm), acetona (Acet) e solução experimental multifuncional (ExSo). A remoção dos resíduos do cimento biocerâmico foi realizada inicialmente com bolinha de algodão embebida na respectiva solução, seguida da utilização de escova de Robinson acoplada à peça de baixa rotação, também umedecida com a solução correspondente, durante 10 segundos, sob torque de 5 N·cm e velocidade de 600 rpm. A solução experimental foi composta por acetato de amila, acetona,

etanol a 95%, glicerina e veículo tensoativo hidrossolúvel à base de lauril sulfato de sódio.

3.3.4 Avaliação da persistência de resíduos e incidência de túbulos dentinários abertos

Após a realização dos protocolos de limpeza, 40 espécimes impregnados com o cimento biocerâmico BioRoot RCS (n = 10 por grupo) foram mantidos em estufa a 37 °C durante 24 horas. Em seguida, a superfície dentinária foi moldada utilizando silicone de adição de média viscosidade (Express XT; 3M, Sumaré, SP, Brasil), sendo obtidas réplicas individuais em resina epóxi (Epofix; Struers Inc., Cleveland, OH, EUA).

As réplicas foram montadas em stubs metálicos, submetidas à metalização com ouro em ciclo único de 120 segundos, sob vácuo, em metalizador (MED 010; Balzers Union, Balzers, Liechtenstein), e analisadas em microscópio eletrônico de varredura (JSM 6060; JEOL Co., Tóquio, Japão), operando com tensão de aceleração de 20 kV.

Inicialmente, quatro campos de cada espécime foram examinados, sendo selecionada a imagem mais representativa obtida com magnificação de 500×, conforme metodologia descrita por Escalante-Otárola et al.¹³. Dois examinadores independentes e previamente calibrados ($\kappa = 0,82$) avaliaram a persistência de resíduos do cimento biocerâmico sobre a superfície dentinária por meio da atribuição de escores, de acordo com os critérios propostos por Kuga et al.¹⁴.

Posteriormente, uma segunda imagem da mesma região foi obtida com magnificação de 2.000× para avaliação da incidência de túbulos dentinários abertos. Todas as imagens foram obtidas pelo mesmo operador. A quantificação dos túbulos dentinários abertos foi realizada pelos mesmos examinadores utilizando o software Adobe Photoshop CS (Adobe Systems Inc., San Jose, CA, EUA), conforme metodologia descrita por Belizário et al.¹⁵.

3.3.5 Avaliação da extensão dos tags resinosos por microscopia confocal

Após a impregnação da dentina coronária com o cimento biocerâmico BioRoot RCS e realização dos respectivos protocolos de limpeza, 80 espécimes (n = 20 por grupo) foram restaurados utilizando dois sistemas adesivos distintos, de acordo com a estratégia adesiva adotada.

Na estratégia condiciona-e-lava (ECL), a dentina foi condicionada com ácido fosfórico a 37% (Condac 37; FGM, Joinville, SC, Brasil) durante 15 segundos, seguida de lavagem com água destilada por 30 segundos e secagem com papel absorvente. Em seguida, o sistema adesivo convencional Adper™ Scotchbond™ Multi-Purpose (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA) foi aplicado conforme as recomendações do fabricante, utilizando microbrush (Microbrush; KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil), sendo posteriormente fotoativado com aparelho fotopolimerizador LED (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA), com irradiância de 1.200 mW/cm², durante 10 segundos.

Na estratégia autocondicionante (EA), o sistema adesivo universal Scotchbond™ Universal (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA) foi aplicado ativamente em duas camadas consecutivas, durante 20 segundos cada, seguido de fotoativação nas mesmas condições descritas para a estratégia condiciona-e-lava.

Para possibilitar a visualização da interface adesiva em microscopia confocal, foram incorporados 16 µL de Rodamina B a 4 mL do sistema adesivo utilizado, enquanto o corante verde malaquita (Synth, Diadema, SP, Brasil) foi incorporado à resina composta Filtek™ Z250 (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA), permitindo a diferenciação entre o sistema adesivo e o material restaurador.

Os espécimes permaneceram armazenados em ambiente úmido, a 37 °C, durante 24 horas. Posteriormente, foram seccionados no sentido inciso-cervical, obtendo-se dois segmentos de dimensões semelhantes. O segmento mesial foi destinado à avaliação da extensão dos tags resinosos. A superfície seccionada foi polida em politriz (DP-10; Panambra/Struers, Ballerup, Dinamarca), utilizando lixas de carbetto de silício de granulação #600 e #1200 durante 20 segundos cada, seguida de limpeza em cuba ultrassônica por 5 minutos e secagem com papel absorvente.

As análises foram realizadas em microscópio confocal de varredura a laser (LSM5; Carl Zeiss, Jena, Alemanha), utilizando aumento de 20×. Para cada espécime foram obtidas dez mensurações da extensão dos tags resinosos utilizando o software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). As mensurações foram realizadas por dois examinadores independentes, previamente calibrados ($\kappa = 0,82$), sendo considerada, para cada espécime, a média aritmética das dez medidas obtidas.

3.3.6 Avaliação da resistência de união

Após a realização dos protocolos adesivos, blocos de resina composta Filtek™ Z350 (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA) foram confeccionados sobre a superfície dentinária por meio da inserção incremental de camadas de aproximadamente 2 mm de espessura. Cada incremento foi fotoativado durante 20 segundos utilizando aparelho fotopolimerizador LED VALO (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA), com irradiância de 1.200 mW/cm².

Os espécimes permaneceram armazenados em água destilada a 37 °C durante 30 dias. Decorrido esse período, foram seccionados longitudinalmente nos sentidos mésio-distal e vestibulo-lingual, atravessando a interface adesiva, utilizando máquina de corte para tecidos duros (IsoMet; Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, EUA), obtendo-se aproximadamente cinco palitos por espécime, com área transversal aproximada de 1 mm². A área adesiva de cada palito foi confirmada por meio de paquímetro digital (Digimatic Caliper; Mitutoyo Corp., Tóquio, Japão).

Após o preparo, os palitos permaneceram imersos em água destilada a 37 °C por 24 horas. Em seguida, foram fixados em dispositivo específico para ensaio de microtração (Microtensile JIG2 Compact; Odeme, Luzerna, SC, Brasil), utilizando adesivo à base de cianoacrilato (Super Bonder Gel; Loctite Henkel, Itapevi, SP, Brasil).

O ensaio de microtração foi realizado em máquina universal de ensaios (OM150; Odeme, Luzerna, SC, Brasil), equipada com célula de carga de 200 N e velocidade de deslocamento de 0,5 mm/min. Os espécimes foram posicionados de modo que a interface adesiva permanecesse centralizada e perpendicular à direção da força aplicada. A resistência de união foi expressa em MPa, sendo calculada pela razão entre a carga máxima de fratura (N) e a área adesiva correspondente (mm²). Para cada espécime foi considerada a média dos valores obtidos a partir dos palitos válidos.

3.3.7 Análise do padrão de falha adesiva

Após a realização do ensaio de microtração, os mesmos palitos foram submetidos à análise do padrão de falha em estereomicroscópio com aumento de 50×.

As falhas foram classificadas em quatro categorias: adesiva (AD), quando a fratura ocorreu na interface entre a dentina e o sistema restaurador; coesiva em dentina (COD), quando a ruptura ocorreu exclusivamente no substrato dentinário; coesiva em resina composta (COR), quando a fratura ocorreu apenas no material restaurador; e mista (MIS), quando foram observadas combinações entre falhas adesivas e coesivas.

A distribuição dos diferentes padrões de falha foi registrada para cada grupo experimental, permitindo correlacionar o comportamento mecânico da interface adesiva com os resultados obtidos no ensaio de resistência de união.

3.4 Experimento 2 – Avaliação da interface adesiva em dentina radicular

O Experimento 2 teve como objetivo avaliar a influência dos resíduos do cimento endodôntico biocerâmico sobre a interface adesiva durante a cimentação de pinos de fibra de vidro em canais radiculares, bem como investigar a eficácia de diferentes protocolos de limpeza na remoção desses resíduos. Foram analisadas a persistência de resíduos sobre a dentina radicular, a incidência de túbulos dentinários abertos, a resistência de união por meio do ensaio de push-out e o padrão de falha após o deslocamento dos pinos.

3.4.1 Preparo dos espécimes radiculares

Foram utilizados dentes incisivos bovinos hígidos, provenientes de frigorífico, previamente limpos e armazenados sob refrigeração até sua utilização. Inicialmente, os dentes foram submetidos à remoção dos tecidos moles aderidos à superfície radicular por meio de curetas periodontais, seguida de profilaxia com pedra-pomes e água utilizando escova de Robinson em baixa rotação.

As coroas dentárias foram removidas perpendicularmente ao longo eixo do dente utilizando máquina de corte de precisão sob refrigeração, obtendo-se segmentos radiculares padronizados para a realização dos procedimentos experimentais subsequentes. Os remanescentes radiculares foram inspecionados visualmente para exclusão daqueles que apresentassem trincas, fraturas, reabsorções ou qualquer alteração estrutural que pudesse interferir nos resultados do estudo.

Após a padronização dos espécimes, os canais radiculares tiveram sua patência verificada e foram irrigados com água destilada para remoção de resíduos provenientes do corte. Em seguida, as raízes foram distribuídas aleatoriamente entre os grupos experimentais, de acordo com o cimento endodôntico utilizado e o protocolo de limpeza empregado após o preparo do espaço para pino, permanecendo armazenadas em ambiente úmido até o início dos procedimentos endodônticos.

3.4.2 Tratamento endodôntico e protocolos de limpeza

Após o preparo dos espécimes radiculares, os canais foram inicialmente explorados com lima manual K #10 (Dentsply Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil) para determinação da patência, seguida da obtenção do glide path com lima K #15 (Dentsply Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil). O preparo químico-mecânico foi realizado com o sistema rotatório ProTaper Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), até o instrumento F5, estabelecendo-se comprimento de trabalho de 14 mm.

Durante a instrumentação, os canais radiculares foram irrigados com 5 mL de solução de hipoclorito de sódio a 2,5% (Asfer, São Caetano do Sul, SP, Brasil) a cada troca de instrumento. Ao término do preparo, realizou-se irrigação com 5 mL de EDTA a 17% (Biodinâmica, Ibiaporã, PR, Brasil), mantido no interior do canal por 3 minutos, seguida de irrigação final com 5 mL de hipoclorito de sódio a 2,5%.

Após a secagem dos canais com cones de papel absorvente F5 (Dentsply Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil), foi realizada a obturação utilizando cone principal de guta-percha F5 (Dentsply Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil) associado ao cimento biocerâmico BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, França), empregando a técnica do cone único.

Em seguida, o cone de guta-percha foi removido, preservando-se 3 mm de material obturador no terço apical do canal radicular. Os resíduos do cimento biocerâmico presentes na dentina radicular do segmento cervical foram removidos por meio de um dos protocolos experimentais de limpeza: água destilada (controle), solução experimental, etanol a 95%, acetato de amila ou acetona. Inicialmente, a solução correspondente foi aplicada com microbrush (Microbrush; KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil), seguida de escova para limpeza

de condutos (MKLife, Porto Alegre, RS, Brasil), acionada durante 10 segundos, sob torque de 5 N·cm e velocidade de 600 rpm.

3.4.3 Preparo do espaço para pino e cimentação do pino de fibra de vidro

Após a obturação dos canais radiculares, realizou-se o preparo do espaço para pino utilizando brocas Largo nº 3 e nº 4, seguido da broca correspondente ao sistema White Post DC nº 1 (FGM, Joinville, SC, Brasil), mantendo-se o remanescente de 3 mm de material obturador na região apical. Após o preparo, o canal foi irrigado com 10 mL de água destilada, aspirado e seco com cones de papel absorvente.

Na sequência, realizou-se novamente o protocolo de limpeza da dentina radicular utilizando uma das soluções experimentais previamente estabelecidas: água destilada (controle), solução experimental, etanol a 95%, acetato de amila ou acetona.

Os pinos de fibra de vidro White Post DC nº 1 (FGM, Joinville, SC, Brasil) tiveram sua adaptação previamente verificada no interior do canal radicular. Posteriormente, foram limpos com etanol a 95% (Rinse-N-Dry; Vista Dental Products, Racine, WI, EUA) e receberam duas camadas de silano (Prosil; FGM, Joinville, SC, Brasil), aplicadas em toda sua superfície.

Os espécimes foram distribuídos de acordo com duas estratégias adesivas. Na estratégia condiciona-e-lava, a dentina radicular foi condicionada com ácido fosfórico a 37% (Condac 37; FGM, Joinville, SC, Brasil) durante 15 segundos, seguida de lavagem com água destilada por 30 segundos e secagem com cones de papel absorvente. Em seguida, foi aplicado o sistema adesivo correspondente à estratégia condiciona-e-lava, de forma ativa, utilizando escova para limpeza de condutos, seguido da remoção do excesso com cone de papel absorvente, leve jato de ar e fotoativação por 10 segundos com aparelho fotopolimerizador LED VALO (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA), com irradiância de 1.200 mW/cm².

Na estratégia autocondicionante, foi empregado o sistema adesivo correspondente à estratégia autocondicionante, aplicado ativamente em duas camadas consecutivas, utilizando o mesmo protocolo de aplicação e fotoativação descrito anteriormente, porém sem condicionamento prévio da dentina com ácido fosfórico.

Após a aplicação do sistema adesivo, o cimento resinoso foi inserido no canal radicular com dispositivo Precision (Maquira, Maringá, PR, Brasil), seguido da inserção do pino de fibra de vidro. A fotoativação foi realizada com aparelho LED VALO (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA), com irradiância de 1.200 mW/cm², durante 40 segundos em cada face (vestibular, lingual, mesial e distal).

3.4.4 Avaliação da extensão dos tags resinosos

Após a cimentação dos pinos de fibra de vidro, os espécimes destinados à análise da interface adesiva foram incluídos em resina poliéster e, após a polimerização, removidos das matrizes e seccionados perpendicularmente ao longo eixo radicular em máquina de corte de precisão (Isomet 110; Buehler, Lake Bluff, IL, EUA), sob refrigeração constante. De cada raiz foram obtidos três slices, com espessura de $2,0 \pm 0,1$ mm, correspondentes aos terços cervical, médio e apical do espaço para pino, localizados, respectivamente, a 1,0 mm, 5,0 mm e 8,0 mm da face cervical da raiz.

Os espécimes foram avaliados em microscópio confocal de varredura a laser (LSM 5; Carl Zeiss, Jena, Alemanha), utilizando aumento de 10×. Para cada slice, foram obtidas imagens dos quatro quadrantes do perímetro da interface adesiva entre o sistema de cimentação e a dentina radicular.

Em cada quadrante foram realizadas dez mensurações da extensão dos tags resinosos formados no interior dos túbulos dentinários, utilizando o software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). Para cada espécime, foi calculada a média aritmética das medidas obtidas nos quatro quadrantes, sendo esse valor considerado representativo da extensão dos tags resinosos.

3.4.5 Avaliação da resistência de união

Após a avaliação da extensão dos tags resinosos, os espécimes permaneceram armazenados em óleo mineral, em estufa a 37 °C, durante 30 dias. Decorrido esse período, os slices correspondentes aos terços cervical, médio e apical foram submetidos ao ensaio de resistência de união por meio do teste de push-out.

O ensaio foi realizado em máquina de ensaio universal (OM150; Odeme, Luzerna, SC, Brasil), equipada com célula de carga de 1 kN, utilizando

velocidade de deslocamento de 0,5 mm/min até o deslocamento completo do conjunto pino de fibra/cimento resinoso da dentina radicular.

Foram utilizados dispositivos (punches) com diâmetros de 1,2 mm, 0,9 mm e 0,5 mm para os terços cervical, médio e apical, respectivamente. A carga necessária para o deslocamento foi registrada em Newton (N) e convertida em resistência de união (MPa), dividindo-se a força máxima pela área adesiva correspondente ($\text{MPa} = F/AD$), conforme metodologia descrita por Belizário et al¹⁵.

3.4.6 Análise do padrão de falha

Após o ensaio de push-out, as superfícies cervicais dos slices foram polidas sequencialmente com suspensão de alumina de 0,3 μm e 0,05 μm (Arotec, Cotia, SP, Brasil), utilizando disco de veludo em politriz (Aropol VV; Arotec, Cotia, SP, Brasil), sob irrigação constante. Em seguida, os espécimes foram submetidos à limpeza em cuba ultrassônica durante 5 minutos.

As amostras foram analisadas em microscópio confocal de varredura a laser (Lext OLS4100; Olympus, Tóquio, Japão), com aumento de 1024 $\times$. O perímetro da interface adesiva foi dividido em quatro quadrantes, sendo obtida uma imagem de cada região para classificação do padrão de falha.

As falhas foram classificadas conforme Belizário et al., em: tipo 1, falha adesiva entre o pino de fibra e o cimento resinoso; tipo 2, falha adesiva entre o sistema de cimentação e a dentina radicular; tipo 3, falha coesiva no sistema de cimentação; e tipo 4, falha mista, caracterizada pela combinação de dois ou mais padrões de falha.

3.5 Análise estatística

Inicialmente, os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk para verificação da distribuição dos dados. A partir dos resultados dessa análise, foram empregados testes estatísticos paramétricos ou não paramétricos, conforme a distribuição apresentada por cada variável.

As variáveis com distribuição normal foram analisadas por meio da análise de variância (ANOVA), seguida do teste de comparações múltiplas de Tukey. Para as variáveis que não apresentaram distribuição normal, utilizaram-se os

testes de Kruskal-Wallis, seguidos do pós-teste de Dunn. Em todas as análises, adotou-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

4. RESULTADOS

4.1 Experimento 1 – Avaliação da interface adesiva em dentina coronária

4.1.1 Persistência de resíduos e incidência de túbulos dentinários abertos

A persistência de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS na superfície dentinária variou de acordo com o protocolo de limpeza empregado, conforme apresentado na Tabela 1. Os grupos tratados com acetato de amila (BR-AcAm), acetona (BR-Acet) e solução experimental (BR-ExSo) apresentaram maior persistência de resíduos, todos com mediana igual a 1, enquanto os grupos submetidos à limpeza com etanol a 95% (BR-95Et), água destilada (BR-ADCo) e o grupo controle negativo (BR-NeCo) apresentaram mediana igual a 0.

Entretanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos avaliados ($P > 0,05$), conforme indicado pelas letras iguais atribuídas aos grupos na Tabela 1.

A distribuição dos escores também demonstrou comportamento semelhante entre os grupos. Os valores mínimo e máximo variaram entre 0 e 1 para todos os protocolos experimentais, exceto para o grupo controle negativo, que apresentou ausência de variação (0–0). Em relação aos quartis, o grupo BR-AcAm apresentou distribuição entre 0,25 e 1, enquanto os grupos BR-95Et, BR-Acet e BR-ExSo apresentaram distribuição entre 0 e 1. O grupo BR-ADCo, assim como o grupo controle negativo, apresentou primeiro e terceiro quartis iguais a 0, evidenciando menor ocorrência de resíduos superficiais. Essas informações reforçam a distribuição dos escores observada na Tabela 1.

Tabela 1. Mediana, valores mínimo e máximo, primeiro e o terceiro quartis dos escores atribuídos à incidência de resíduos, em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico da superfície dentinária.

	AH-95Et	AH-AcAm	AH-Acet	AH-ExSo	AH-ADCo	AH-NeCo
Median	0 ^a	1 ^a	1 ^a	1 ^a	0 ^a	0 ^a
min-max	0–1	0–1	0–1	0–1	0–1	0–0
1Q-3Q	0–1	0.25–1	0–1	0–1	0–0	0–0

^{a,b,c} Diferentes letras na mesma linha indica diferença estatística entre os protocolos ($P=0,05$). BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico. min, escore mínimo; max, escore máximo; 1Q, primeiro quartil; 3Q, terceiro quartil.

Em relação à incidência de túbulos dentinários abertos, os resultados apresentados na Tabela 2 demonstraram que o grupo controle negativo apresentou maior número de túbulos expostos quando comparado aos grupos previamente contaminados pelo cimento biocerâmico, sendo essa diferença estatisticamente significativa ($P < 0,05$). Por outro lado, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos de limpeza BR-95Et, BR-AcAm, BR-Acet, BR-ExSo e BR-ADCo ($P > 0,05$), indicando comportamento semelhante entre as diferentes soluções empregadas para remoção dos resíduos do cimento biocerâmico.

Os valores médios apresentados na Tabela 2 evidenciaram que o grupo controle negativo apresentou média de $116,40 \pm 6,72$ túbulos dentinários abertos, com intervalo de confiança entre 111,59 e 121,21, enquanto os grupos experimentais apresentaram médias variando entre $94,50 \pm 8,22$ e $95,70 \pm 5,01$ túbulos, com ampla sobreposição dos intervalos de confiança entre si. Esses resultados confirmaram que, embora os diferentes protocolos de limpeza tenham apresentado desempenho semelhante ($P > 0,05$), todos permaneceram inferiores ao grupo controle negativo ($P < 0,05$).

Tabela.2. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da incidência de túbulos dentinários abertos (em quantidade) em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico da superfície dentinária.

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo	BR-NeCo
MA	94,7 ^b	94,7 ^b	94,8 ^b	95,7 ^b	94,5 ^b	116,4 ^a
DV	6,06	6,07	5,83	5,01	8,22	6,72
IC	90,37-	90,35-	90,63-	92,11-	88,62-	111,59-
	99,03	99,05	98,97	99,29	100,38	121,21

^{a,b} Letras diferentes na mesma linha indica diferença significativa entre os protocolos. BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico. MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, apresentadas na Figura 1, corroboraram os resultados quantitativos observados nas Tabelas 1 e 2, evidenciando maior persistência de resíduos nos grupos experimentais e maior exposição dos túbulos dentinários no grupo controle negativo.

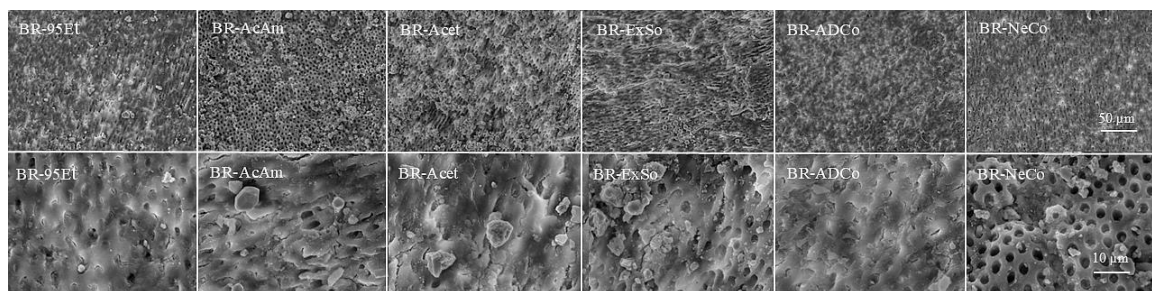


Figura 1. Imagem representativa do padrão de persistência de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e da incidência de túbulos dentinários abertos após a aplicação dos protocolos de remoção de resíduos.

BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico.

4.1.2 Resistência de união

A resistência de união da interface adesiva foi avaliada após a aplicação dos diferentes protocolos de limpeza da superfície dentinária previamente impregnada com o cimento biocerâmico BioRoot RCS, utilizando os sistemas adesivos Adper Scotchbond Multi-Purpose (estratégia condiciona-e-lava) e Scotchbond Universal (estratégia autocondicionante). Os resultados obtidos para ambas as estratégias adesivas estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Quando empregada a estratégia condiciona-e-lava, utilizando o sistema adesivo Adper Scotchbond Multi-Purpose, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos de limpeza avaliados ($P > 0,05$), conforme demonstrado na Tabela 3. Todos os grupos receberam a mesma letra no teste de comparação múltipla, indicando comportamento estatístico semelhante. As médias de resistência de união variaram de $37,69 \pm 2,16$ MPa (BR-Acet) a $39,63 \pm 1,77$ MPa (BR-NeCo), sendo observados valores intermediários de $38,35 \pm 2,18$ MPa para BR-95Et, $38,46 \pm 2,08$ MPa para BR-AcAm, $38,01 \pm 3,83$ MPa para BR-ExSo e $38,30 \pm 1,65$ MPa para BR-ADCo. Os intervalos de confiança apresentaram ampla sobreposição entre todos os grupos, corroborando a ausência de diferenças estatísticas ($P > 0,05$) observada na Tabela 3.

Tabela 3. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da resistência de união (em MPa) na interface adesiva entre a dentina previamente submetida aos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e o sistema adesivo convencional utilizado na estratégia condiciona-e-lava (Adper Scotchbond Multi-Purpose)

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo	BR-NeCo
MA	38,35 ^a	38,46 ^a	37,69 ^a	38,01 ^a	38,30 ^a	39,63 ^a
DV	2,18	2,08	2,16	3,83	1,65	1,77
IC	37,33-	37,48-	36,68-	36,21-	37,53-	38,93-
	39,38	39,43	38,70	39,80	39,08	40,59

^{a,b} Letras diferentes na mesma linha indica diferença significativa entre os protocolos. BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot

RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico. MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

Quando avaliada a estratégia autocondicionante, utilizando o sistema adesivo Scotchbond Universal, os grupos experimentais também apresentaram comportamento semelhante entre si ($P > 0,05$), com valores médios variando entre $46,93 \pm 2,83$ MPa e $47,15 \pm 2,45$ MPa, conforme apresentado na Tabela 4. Entretanto, diferentemente do observado para o sistema adesivo convencional, todos os grupos previamente contaminados pelo cimento biocerâmico apresentaram valores significativamente inferiores ao grupo controle negativo ($P < 0,05$). O grupo BR-NeCo apresentou média de $49,76 \pm 1,71$ MPa, sendo evidenciada diferença estatística em relação ao controle (Tabela 4).

Tabela 4. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da resistência de união (em MPa) na interface adesiva entre a dentina previamente submetida aos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal).

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo	BR-NeCo
MA	47.15 ^b	47.05 ^b	46.93 ^b	47.06 ^b	47.01 ^b	49.76 ^a
DV	2.45	3.47	2.83	1.91	2.45	1.71
IC	46.27-	45.81-	45.85-	45.89-	46.13-	49.14-
	48.03	48.31	48.01	48.23	47.88	50.37

^{a,b} Letras diferentes na mesma linha indica diferença significativa entre os protocolos. BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico. MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

De modo geral, verificou-se que a estratégia adesiva exerceu maior influência sobre os valores de resistência de união do que os protocolos de limpeza. Independentemente da solução utilizada para remoção dos resíduos do cimento biocerâmico, os grupos experimentais apresentaram comportamento

semelhante dentro de cada estratégia adesiva avaliada, evidenciando a manutenção de níveis satisfatórios de resistência de união da interface adesiva.

4.1.3 Padrão de falha

Após o ensaio de resistência de união, foi realizada a análise do padrão de falha da interface adesiva, sendo os resultados expressos em porcentagem. A Figura 2 apresenta a distribuição dos padrões de falha observados na interface adesiva entre a dentina previamente impregnada com o cimento biocerâmico BioRoot RCS e o sistema adesivo Adper Scotchbond Multi-Purpose, utilizado na estratégia condiciona-e-lava. Observou-se predominância de falhas coesivas do tipo 1 em todos os protocolos de remoção de resíduos avaliados.

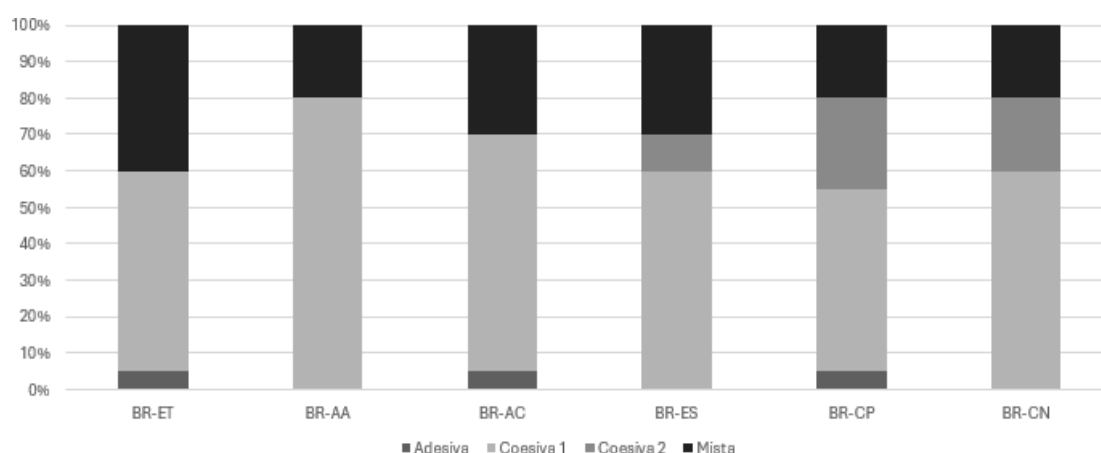


Figura 2. Distribuição dos padrões de falha adesiva observados na interface adesiva entre a dentina previamente impregnada com o cimento biocerâmico BioRoot RCS e o sistema adesivo convencional utilizado na estratégia condiciona-e-lava (Adper Scotchbond Multi-Purpose), em função dos diferentes protocolos de remoção de resíduos.

Para o sistema adesivo Scotchbond Universal, utilizado na estratégia autocondicionante, também foi observada predominância de falhas coesivas do tipo 1 em todos os protocolos experimentais. As falhas mistas representaram o segundo padrão de falha mais frequente, seguidas pelas falhas adesivas e pelas falhas coesivas em dentina. A distribuição percentual dos diferentes padrões de falha encontra-se apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Incidência de falha adesiva (em %) em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS), na interface de adesão com o adesivo universal (Scotchbond Universal).

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo	BR-NeCo
Adesiva	13.34	13.34	16.66	16.68	13.34	13.34
coesiva 1	43.33	50	40	50	50	46.66
coesiva 2	10	10	16.68	16.66	16.66	13.34
Mista	33.33	26.66	26.66	16.66	20	26.66

BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico.

A predominância de falhas coesivas em resina composta demonstra que a resistência da interface adesiva foi superior à resistência interna do material restaurador, corroborando os resultados obtidos no ensaio de resistência de união e indicando que os diferentes protocolos de remoção de resíduos proporcionaram condições favoráveis para o estabelecimento de uma interface adesiva estável.

4.1.4 Extensão dos tags resinosos

Os valores de média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da extensão de formação dos tags resinosos, em função dos diferentes protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS, encontram-se apresentados na Tabela 6.

Nos terços cervical e médio, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos de remoção de resíduos avaliados ($P > 0,05$). No terço apical, o protocolo BR-AcAm apresentou menor extensão de tags resinosos quando comparado aos protocolos BR-95Et, BR-Acet, BR-ExSo e BR-ADCo ($P < 0,05$). Os protocolos BR-95Et, BR-Acet, BR-ExSo e BR-ADCo apresentaram resultados semelhantes entre si ($P > 0,05$).

Tabela 6. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança (em μm) da extensão de tags formados pelo adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), na interface adesiva, em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS).

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo	BR-NeCo
MA	27,36 ^b	28,25 ^b	27,24 ^b	28,52 ^b	28,34 ^b	31,64 ^a
DV	1,34	1,74	1,58	1,63	1,39	1,41
IC	26,40-	27,00-	26,11-	27,36-	27,34-	30,64-
	28,32	29,49	28,37	29,69	29,33	32,65

^{a,b} Letras diferentes na mesma linha indica diferença significativa entre os protocolos. BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico. MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

A Figura 3 apresenta imagens representativas da formação dos tags resinosos na interface entre a dentina radicular e o sistema adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), após a aplicação dos diferentes protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS.

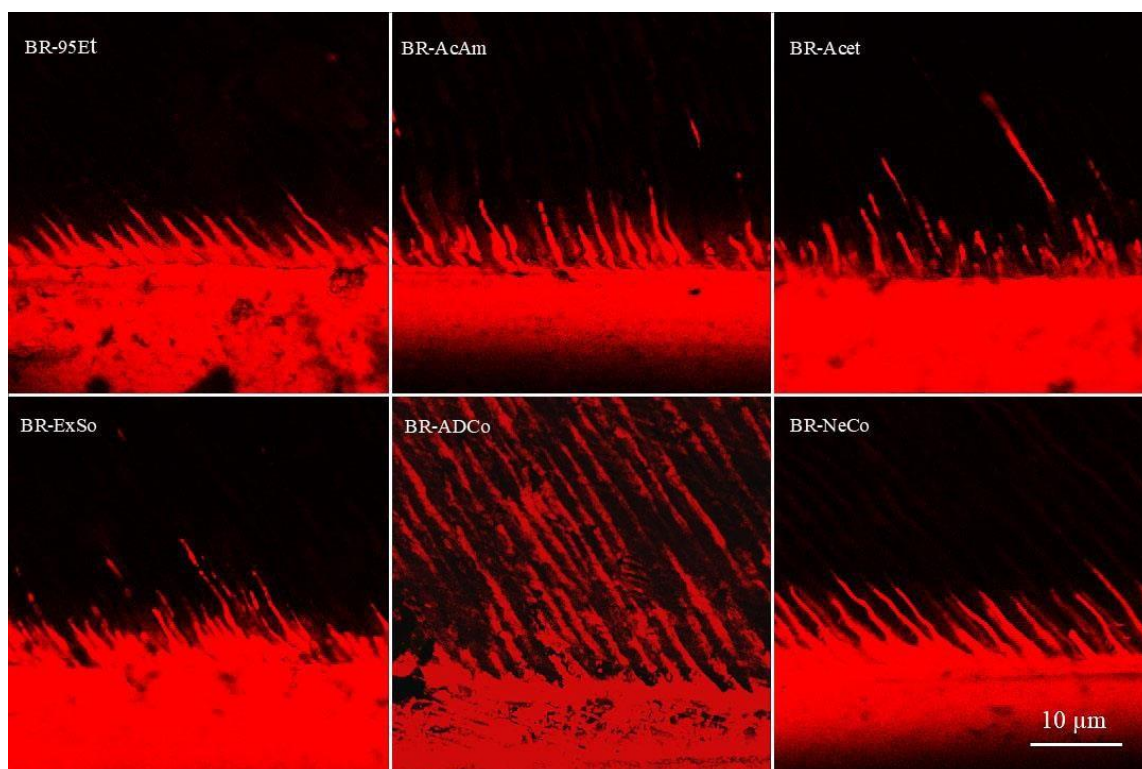


Figura 3. Imagem representativa do padrão de extensão de tags formados pelo sistema adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), na dentina da coroa dental, em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS). BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico

Os valores de média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da extensão de formação dos tags resinosos na interface entre a dentina radicular e o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), em função dos diferentes protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS e do terço radicular avaliado, encontram-se apresentados na Tabela 7.

Independentemente do terço radicular avaliado, os protocolos de remoção de resíduos apresentaram comportamento semelhante entre si ($P > 0,05$). Nos terços cervical e médio, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos experimentais ($P > 0,05$). No terço apical, o protocolo BR-AcAm apresentou menor extensão de tags resinosos em comparação aos protocolos BR-95Et, BR-Acet, BR-ExSo e BR-ADCo ($P < 0,05$), os quais não diferiram estatisticamente entre si ($P > 0,05$).

Tabela 7. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança (em μm) da extensão de tags formados pelo adesivo universal (Scotchbond Universal), na interface adesiva, em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS).

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo	BR-NeCo
MA	11.91 ^b	8.85 ^c	11.52 ^b	11.69 ^b	11.91 ^b	14.72 ^a
DV	0.98	0.55	0.38	0.49	0.22	0.52
IC	11.28- 12.51	8.29-9.41	11.14- 11.91	11.21- 12.19	11.68- 12.14	14.19- 15.25

^{a,b} Letras diferentes na mesma linha indica diferença significativa entre os protocolos. BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico. MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

A Figura 4 apresenta imagens representativas da formação dos tags resinosos na interface entre a dentina radicular e o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), após a aplicação dos diferentes protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS.

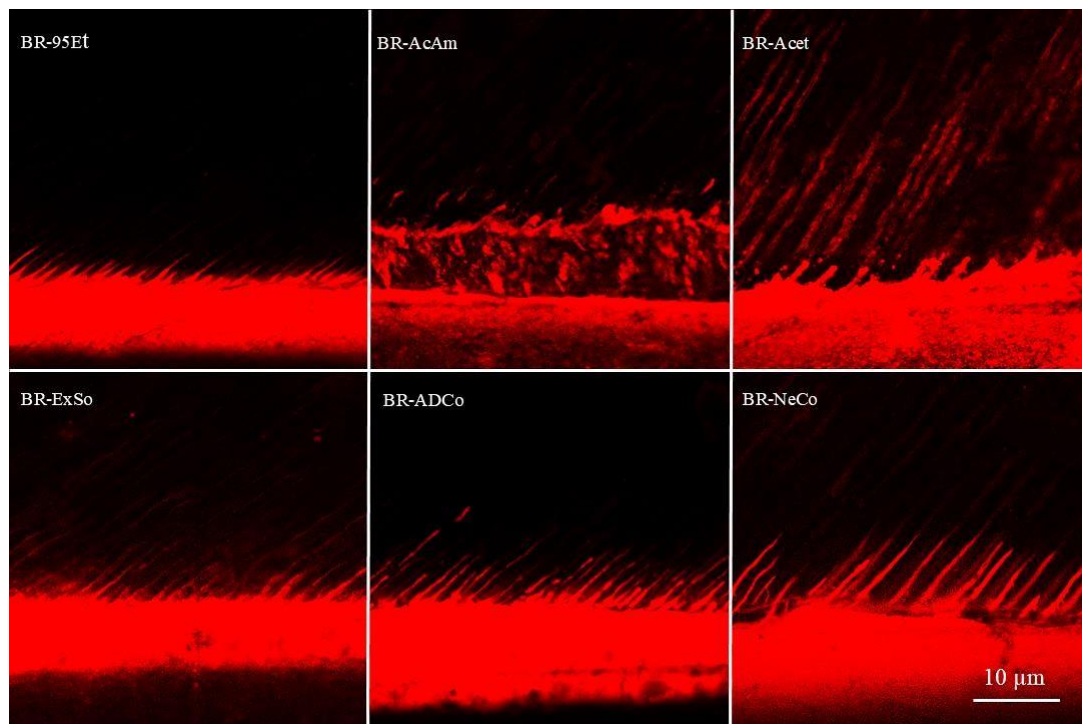


Figura 4. Imagem representativa do padrão de extensão de tags formados pelo sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), na dentina da coroa dental, em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS). BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; BR-NeCo, controle negativo sem aplicação do cimento endodôntico.

De modo geral, os resultados demonstraram que a contaminação prévia da superfície dentinária pelo cimento biocerâmico reduziu a extensão dos tags resinosos quando comparada à dentina não contaminada. Entretanto, os protocolos de limpeza avaliados foram capazes de promover formação de tags em todos os grupos experimentais, evidenciando a manutenção da capacidade de interação entre os sistemas adesivos e o substrato dentinário.

4.2. Experimento 2 – Avaliação da interface adesiva em dentina radicular

4.2.1 Persistência de resíduos

Os escores atribuídos à incidência de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS nos diferentes terços do espaço para pino, após a aplicação dos protocolos de remoção de resíduos, encontram-se apresentados na Tabela 8.

Nos terços cervical e médio, o protocolo BR-ADCo apresentou menor incidência de resíduos sobre a superfície dentinária em comparação aos protocolos BR-95Et, BR-AcAm, BR-Acet e BR-ExSo ($P < 0,05$). Os protocolos BR-95Et, BR-AcAm, BR-Acet e BR-ExSo apresentaram comportamento semelhante entre si ($P > 0,05$). No terço apical, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos avaliados ($P > 0,05$).

Tabela 8. Mediana, valores mínimo e máximo, primeiro e terceiro quartis dos escores atribuídos à incidência de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS) sobre a dentina radicular, em função dos protocolos de remoção de resíduos, nos terços cervical, médio e apical do espaço para pino.

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo
C	2 ^b	2 ^b	2 ^b	2 ^b	1 ^a
Vmin- Vmax	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	1 - 2
1Q-3Q	2 - 3	2 - 2	2 - 2	2 - 2.75	1 - 1
M	2 ^b	2 ^c	2 ^b	2 ^c	1 ^a
Vmin- Vmax	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	1 - 1.75
1Q-3Q	2 - 3	2 - 2.75	2 - 2.75	2 - 2.75	2 - 2
A	2.5 ^a	2 ^c	2 ^a	2 ^c	2 ^a
Vmin- Vmax	2 - 3	2 - 3	2 - 3	0.47	2 - 3
1Q-3Q	2 - 3	2 - 2.75	2 - 3	2 - 3	2 - 3

^{a,b} Diferentes letras na mesma linha indica diferença significativa entre os protocolos (P=0,05).

*O protocolo foi desconsiderado para análise neste estudo. BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada; C, terço cervical. M, terço médio; A, terço apical, M, mediana; Vmin, valor mínimo; Vmax, valor máximo, 1Q, primeiro quartil; 3Q, terceiro quartil.

A análise das imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura permitiu observar diferenças qualitativas na superfície dentinária entre os protocolos experimentais. O grupo controle negativo apresentou superfície limpa, com ausência de resíduos do cimento biocerâmico, enquanto os grupos experimentais apresentaram diferentes graus de material remanescente, variando conforme o protocolo de limpeza empregado. As imagens representativas de cada grupo são apresentadas na Figura 5.

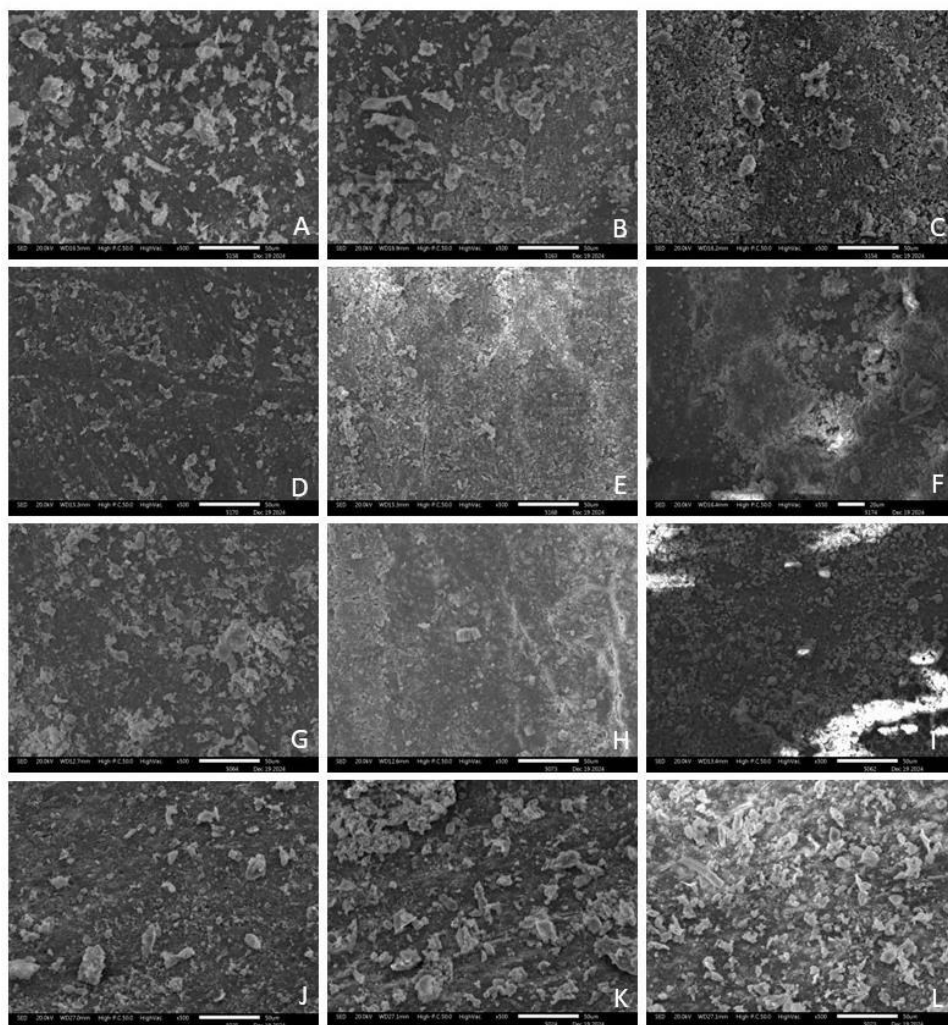


Figura 5. Imagens representativas da incidência de resíduos sobre a dentina do espaço para pino. (A–C) BR-AcAm, terços cervical (A), médio (B) e apical (C). (D–F); BR-Acet, terços cervical (D), médio (E) e apical (F). (G–I); BR-95Et, terços cervical (G), médio (H) e apical (I). (J–L) Br-ExSo, terços cervical (J), médio (K) e apical (L). magnificação: 500x.

4.2.1.1. Incidência de túbulos dentinários abertos

Após a obtenção das imagens em microscopia eletrônica de varredura com magnificação de 2.000x, verificou-se intensa persistência de resíduos do cimento biocerâmico sobre a superfície dentinária dos diferentes grupos experimentais.

Em decorrência dessa condição, não foi possível realizar a quantificação confiável dos túbulos dentinários abertos nos terços cervical, médio e apical do espaço para pino. Dessa forma, essa análise foi descontinuada para o presente experimento, uma vez que a presença de resíduos remanescentes poderia comprometer a interpretação dos resultados e a confiabilidade das

mensurações.

Esses achados reforçam a dificuldade de remoção completa dos resíduos do cimento biocerâmico do interior do espaço para pino, especialmente nas regiões mais profundas do canal radicular.

4.2.2 Resistência de união

Os valores de média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da resistência de união entre a dentina radicular previamente impregnada com cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e o sistema de cimentação de pinos de fibra utilizando o sistema adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), em função dos protocolos de remoção de resíduos e do terço radicular avaliado, encontram-se apresentados na Tabela 9.

Nos terços cervical e médio, o protocolo BR-ADCo apresentou maiores valores de resistência de união em comparação aos protocolos BR-95Et, BR-AcAm, BR-Acet e BR-ExSo ($P < 0,05$). Os protocolos BR-95Et, BR-AcAm, BR-Acet e BR-ExSo apresentaram resultados semelhantes entre si ($P > 0,05$). No terço apical, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos avaliados ($P > 0,05$).

Tabela 9. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da resistência de união (MPa) entre a dentina radicular previamente impregnada com cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e o sistema de cimentação de pinos de fibra utilizando o sistema adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), em função dos protocolos de remoção de resíduos e do terço radicular avaliado.

		BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo
C	MA	8.86 ^b	9.64 ^b	9.01 ^b	10.01 ^b	12.06 ^a
	DV	0.85	0.91	0.71	0.77	0.93
	IC	8.33-9.39	9.07-10.21	8.56-9.45	9.52-10.48	12.02-13.18
M	MA	8.23 ^b	8.62 ^b	8.24 ^b	9.21 ^b	10.98 ^a
	DV	0.73	0.71	0.67	0.95	0.95
	IC	7.77-8.68	8.18-9.06	7.82-8.66	8.62-9.81	10.39-11.57
A	MA	8.09 ^b	8.01 ^b	8.06 ^b	8.18 ^b	8.18 ^a
	DV	0.57	0.46	0.51	0.47	0.58
	IC	7.73-8.45	7.72-8.31	7.81-8.31	7.89-8.48	7.82-8.54

^{a,b,c}. Diferentes letras na mesma linha indica diferença estatística entre os protocolos (P=0,05). BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada. C, terço cervical. M, terço médio; A, terço apical, MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

Os valores de média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da resistência de união entre a dentina radicular previamente impregnada com cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e o sistema de cimentação de pinos de fibra utilizando o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), em função dos protocolos de remoção de resíduos e do terço radicular avaliado, encontram-se apresentados na Tabela 10.

Nos terços cervical e médio, o protocolo BR-ADCo apresentou maiores valores de resistência de união em comparação aos protocolos BR-95Et, BR-

AcAm, BR-Acet e BR-ExSo ($P < 0,05$). Os protocolos BR-95Et, BR-AcAm, BR-Acet e BR-ExSo apresentaram resultados semelhantes entre si ($P > 0,05$). No terço apical, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos avaliados ($P > 0,05$).

Tabela 10. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da resistência de união (MPa) entre a dentina radicular previamente impregnada com cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e o sistema de cimentação de pinos de fibra utilizando o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), em função dos protocolos de remoção de resíduos e do terço radicular avaliado.

		BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo
C	MA	8.86 ^b	9.27 ^b	8.88 ^b	10.01 ^b	12.45 ^a
	DV	0.62	0.93	0.76	0.57	1.02
	IC	8.48-	8.69-	8.41-	9.65-	11.81-
		9.25	9.85	9.35	10.37	13.09
M	MA	8.31 ^b	8.39 ^b	8.42 ^b	9.25 ^b	10.86 ^a
	DV	0.61	0.48	0.67	0.59	0.43
	IC	7.93-	8.09-	8.01-	8.88-	10.59-
		8.68	8.69	8.83	9.62	11.13
A	MA	7.97 ^a	8.03 ^a	8.03 ^a	8.03 ^a	8.11 ^a
	DV	0.41	0.41	0.37	0.33	0.55
	IC	7.72-	7.81-	7.79-	7.82-	7.75-
		8.23	8.29	8.26	8.23	8.44

^{a,b,c}. Diferentes letras na mesma linha indica diferença estatística entre os protocolos ($P=0,05$). BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada. C, terço cervical. M, terço médio; A, terço apical, MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

De maneira geral, os resultados demonstraram que os protocolos de limpeza influenciaram a resistência de união dos pinos de fibra de vidro à dentina radicular, sendo observadas diferenças entre os grupos experimentais para ambas as estratégias adesivas avaliadas.

4.2.3 Padrão de falha

Após o ensaio de resistência de união por push-out, foi realizada a análise do padrão de falha com o objetivo de identificar o local predominante de ruptura entre o pino de fibra de vidro, o cimento resinoso e a dentina radicular. Os resultados foram analisados separadamente para os sistemas adesivos Adper Scotchbond Multi-Purpose e Scotchbond Universal.

A distribuição percentual dos padrões de falha observados na interface entre a dentina radicular e o sistema de cimentação de pinos de fibra utilizando o sistema adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), em função dos protocolos de remoção de resíduos e do terço radicular avaliado, encontra-se apresentada na Tabela 11.

Para o sistema adesivo convencional, observou-se maior incidência de falhas coesivas no protocolo BR-ADCo nos terços cervical, médio e apical. Nos protocolos BR-95Et, BR-AcAm, BR-Acet e BR-ExSo, houve predominância de falhas adesivas tipo 2, independentemente do terço radicular avaliado.

Tabela 11. Distribuição percentual dos padrões de falha observados na interface entre a dentina radicular e o sistema de cimentação de pinos de fibra utilizando o sistema adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), em função dos protocolos de remoção de resíduos e do terço radicular avaliado.

		BR- 95Et	BR- AcAm	BR- Acet	BR- ExSo	BR- ADCo
C	adesiva 1	10	0	20	0	20
	adesiva 2	40	50	50	40	10
	coesiva	20	30	10	30	50
	mista	30	20	20	30	20
	adesiva 1	0	0	10	10	20
M	adesiva 2	40	50	50	40	0
	coesiva	30	30	20	20	60

A	mista	30	20	20	30	20
	adesiva					
	1	0	10	10	0	10
	adesiva					
	2	40	40	60	40	10
	coesiva	30	30	10	30	60
	mista	30	20	20	30	20

BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada.

A distribuição percentual dos padrões de falha observados na interface entre a dentina radicular e o sistema de cimentação de pinos de fibra utilizando o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), em função dos protocolos de remoção de resíduos e do terço radicular avaliado, encontra-se apresentada na Tabela 12.

Para o sistema adesivo universal, observou-se predominância de falhas coesivas em todos os protocolos e em todos os terços radiculares. A incidência de falhas adesivas tipo 1 e tipo 2 foi inferior à de falhas coesivas, sendo que o protocolo BR-ADCo apresentou os maiores percentuais de falhas coesivas, especialmente nos terços cervical e médio.

Tabela 12. Distribuição percentual dos padrões de falha observados na interface entre a dentina radicular e o sistema de cimentação de pinos de fibra utilizando o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), em função dos protocolos de remoção de resíduos e do terço radicular avaliado.

		BR- 95Et	BR- AcAm	BR- Acet	BR- ExSo	BR- ADCo
C	adesiva					
	1	0	10	0	0	0
	adesiva					
	2	20	40	20	20	10
	coesiva	50	40	50	40	70
	mista	30	10	30	40	20

M	adesiva 1	0	10	0	0	0
	adesiva 2	20	40	10	20	10
	coesiva	50	40	50	40	60
	mista	30	10	40	40	30
A	adesiva 1	0	0	0	0	0
	adesiva 2	20	30	20	20	10
	coesiva	50	40	50	50	60
	mista	30	30	30	30	30

BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada.

Os resultados demonstram que o padrão de falha observado foi consistente entre os protocolos de limpeza avaliados para ambos os sistemas adesivos, evidenciando comportamento semelhante quanto ao local predominante de ruptura da interface adesiva.

4.2.4 Extensão dos tags resinosos

A extensão dos tags resinosos na dentina radicular foi avaliada por meio de microscopia confocal, com o objetivo de verificar a influência dos diferentes protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS sobre a infiltração dos sistemas adesivos. Os resultados foram analisados separadamente para os sistemas adesivos Adper Scotchbond Multi-Purpose e Scotchbond Universal.

Os valores de média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da extensão de formação de tags resinosos na interface entre a dentina radicular e o sistema adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS e do terço radicular avaliado, encontram-se apresentados na Tabela 13.

Nos terços cervical e médio, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos de remoção de resíduos avaliados ($P > 0,05$). No terço apical, o protocolo BR-AcAm apresentou menor extensão de tags resinosos em comparação aos protocolos BR-95Et, BR-Acet, BR-ExSo e BR-ADCo ($P < 0,05$). Os protocolos BR-95Et, BR-Acet, BR-ExSo e BR-ADCo apresentaram resultados semelhantes entre si ($P > 0,05$).

Tabela 13. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da extensão de formação de tags resinosos (μm) na interface entre a dentina radicular e o sistema adesivo convencional (Adper Scotchbond Multi-Purpose), em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e do terço radicular avaliado.

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo
MA	12.49 ^a	12.09 ^a	12.16 ^a	12.21 ^a	12.43 ^a
DV	1.17	1.08	0.91	0.81	0.73
IC	11.96-	11.52-	11.72-	11.73-	11.85-
	13.02	12.66	12.61	12.71	13.01
MA	12.13 ^a	12.06 ^a	12.35 ^a	12.16 ^a	12.42 ^a
DV	0.61	0.43	0.44	0.71	0.62
IC	11.67-	11.62-	11.93-	11.56-	11.83-
	12.59	12.51	12.77	12.75	13.01
MA	11.91 ^a	10.96 ^b	11.91 ^a	10.96 ^a	11.93 ^a
DV	0.51	0.91	0.63	0.91	0.68
IC	11.56-	10.67-	11.69-	10.67-	11.57-
	12.27	11.25	12.16	11.25	12.29

^{a,b,c}. Diferentes letras na mesma linha indica diferença estatística entre os protocolos ($P=0,05$). BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada. C, terço cervical. M, terço médio; A, terço apical, MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

Os valores de média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da extensão de formação de tags resinosos na interface entre a dentina radicular e

o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico BioRoot RCS e do terço radicular avaliado, encontram-se apresentados na Tabela 14.

Nos terços cervical e médio, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos avaliados ($P > 0,05$). No terço apical, o protocolo BR-AcAm apresentou menor extensão de tags resinosos em comparação aos protocolos BR-95Et, BR-Acet, BR-ExSo e BR-ADCo ($P < 0,05$). Os protocolos BR-95Et, BR-Acet, BR-ExSo e BR-ADCo apresentaram resultados semelhantes entre si ($P > 0,05$).

Tabela 14. Média aritmética, desvio padrão e intervalo de confiança da extensão de formação de tags resinosos (μm) na interface entre a dentina radicular e o sistema adesivo universal (Scotchbond Universal), em função dos protocolos de remoção de resíduos do cimento biocerâmico (BioRoot RCS) e do terço radicular avaliado.

	BR-95Et	BR-AcAm	BR-Acet	BR-ExSo	BR-ADCo
MA	6.28 ^a	5.78 ^a	6.01 ^a	5.94 ^a	6.11 ^a
DV	0.48	0.45	0.41	0.42	0.54
IC	5.69-	5.34-	5.48-	5.38-	5.62-
	6.81	6.22	6.54	6.51	6.58
MA	6.02 ^a	5.74 ^a	5.95 ^a	5.94 ^a	6.01 ^a
DV	0.25	0.38	0.34	0.34	0.29
IC	5.43-	5.32-	5.49-	5.51-	5.42-
	6.61	6.16	6.39	6.39	6.61
MA	5.91 ^a	5.69 ^b	5.91 ^a	5.91 ^a	5.98 ^a
DV	0.36	0.37	0.35	0.34	0.42
IC	5.54-	5.44-	5.54-	5.62-	5.69-
	6.27	5.94	6.26	6.21	6.28

^{a,b,c}, Diferentes letras na mesma linha indica diferença estatística entre os protocolos ($P=0,05$). BR-95Et, BioRoot RCS e etanol a 95%; BR-AcAm, BioRoot RCS e acetato de amila; BR-Acet, BioRoot RCS e acetona; BR-ExSo, BioRoot RCS e solução experimental; BR-ADCo, BioRoot RCS e água destilada. C, terço cervical. M, terço médio; A, terço apical, MA, média aritmética; DV, desvio padrão, IC, intervalo de confiança.

De maneira geral, a extensão dos tags resinosos variou em função do protocolo de limpeza empregado para ambos os sistemas adesivos, evidenciando que a condição da superfície dentinária influenciou a infiltração dos adesivos na dentina radicular.

5. DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que os diferentes protocolos de limpeza influenciaram significativamente a persistência de resíduos de cimento endodôntico, a incidência de túbulos dentinários abertos, a composição química superficial da dentina e sua microdureza. De maneira geral, os protocolos baseados na associação de solventes apresentaram melhor desempenho na remoção dos resíduos, proporcionando maior exposição dos túbulos dentinários e preservando as características físico-químicas do substrato. Esses achados reforçam que a escolha do protocolo de limpeza pode influenciar diretamente a qualidade da superfície dentinária disponível para os procedimentos restauradores subsequentes.

A permanência de resíduos de cimento endodôntico sobre a dentina representa um dos principais fatores relacionados à redução da qualidade da interface adesiva. Resíduos aderidos à superfície e no interior dos túbulos dentinários podem atuar como uma barreira física à infiltração dos monômeros resinosos, comprometendo a formação da camada híbrida. Esse comportamento foi descrito por Roberts et al.⁴, que observaram redução da resistência de união de sistemas adesivos na presença de resíduos de cimento epóxi, e por Cecchin et al.¹⁶, que demonstraram influência da contaminação dentinária na retenção de pinos de fibra. Os resultados do presente estudo corroboram esses achados ao evidenciarem que os protocolos mais eficientes de limpeza também promoveram menor quantidade de resíduos remanescentes sobre a superfície dentinária.

Entre os protocolos avaliados, a associação de solventes apresentou maior eficiência na remoção dos resíduos, resultado semelhante ao observado por Kuga et al.¹⁴, Gomes et al.⁵ e Zaniboni et al.¹¹, que atribuíram esse desempenho à ação complementar de solventes com diferentes polaridades sobre a matriz resinosa dos cimentos epóxi. Embora nenhum protocolo tenha promovido remoção completa dos resíduos, a redução significativa da

contaminação superficial representa uma condição mais favorável para os procedimentos adesivos, uma vez que permite maior contato entre o adesivo e a dentina subjacente.

A menor quantidade de resíduos observada nos protocolos mais eficientes foi acompanhada por maior incidência de túbulos dentinários abertos, indicando que a limpeza da superfície favoreceu a exposição da estrutura dentinária. Esse achado possui relevância clínica, pois a permeabilidade da dentina influencia diretamente a infiltração dos sistemas adesivos e a formação da camada híbrida. Estudos recentes demonstraram que superfícies menos contaminadas apresentam melhor desempenho adesivo, tanto em dentina impregnada por cimentos epóxi quanto por cimentos biocerâmicos, reforçando a importância da limpeza prévia do substrato antes da realização dos procedimentos restauradores^{4,6,10}.

Além das alterações morfológicas, os protocolos de limpeza também influenciaram a composição química superficial da dentina. A preservação da relação Ca/P observada nos protocolos mais eficientes sugere que esses métodos foram capazes de remover os resíduos sem promover alterações relevantes na fase mineral do tecido. Da mesma forma, a ausência de tungstênio residual em determinados grupos indica maior eficiência na remoção do cimento epóxi, uma vez que esse elemento é utilizado como agente radiopacificador em sua composição. Zaniboni et al¹⁷. observaram comportamento semelhante ao verificarem que a associação entre acetato de amila, acetona e etanol promoveu menor quantidade de resíduos e preservou a composição química da dentina, demonstrando que a eficiência da limpeza pode ser alcançada sem comprometer o substrato dental.

A manutenção da composição mineral da dentina pode apresentar implicações importantes para os procedimentos adesivos, especialmente quando são utilizados adesivos universais contendo o monômero funcional 10-MDP. Barros et al.¹⁸ e Costa et al¹⁰. demonstraram que a preservação da hidroxiapatita superficial favorece a interação química entre esse monômero e o cálcio dentinário, contribuindo para maior estabilidade da interface adesiva. Dessa forma, protocolos de limpeza que preservam a composição mineral da dentina podem oferecer condições mais favoráveis para a adesão, além de removerem os resíduos provenientes dos cimentos endodônticos.

De maneira geral, os resultados obtidos demonstram que protocolos capazes de reduzir a quantidade de resíduos, aumentar a exposição dos túbulos dentinários e preservar a composição química e as propriedades mecânicas da dentina oferecem condições potencialmente mais favoráveis para os procedimentos adesivos realizados após o tratamento endodôntico. Embora estudos clínicos ainda sejam necessários para confirmar esses achados, as evidências laboratoriais disponíveis indicam que a associação de solventes representa uma estratégia promissora para a limpeza da dentina contaminada por cimentos endodônticos.

A influência da composição do cimento endodôntico também deve ser considerada na interpretação dos resultados. Enquanto os cimentos à base de resina epóxi apresentam elevada estabilidade química e forte retenção à dentina, dificultando sua remoção, os cimentos biocerâmicos apresentam comportamento distinto em razão da liberação de íons cálcio e da formação de apatita na interface dentina-material. Essa característica favorece a bioatividade desses materiais, mas também pode modificar a interação com os sistemas adesivos, especialmente aqueles contendo o monômero funcional 10-MDP, conforme descrito por Al-Haddad e Aziz⁷.

Nesse contexto, Barros et al¹⁸. observaram que a estratégia autocondicionante proporcionou maior estabilidade da resistência de união em dentina previamente impregnada por cimento biocerâmico, enquanto Costa et al¹⁰. demonstraram maiores valores de resistência adesiva quando comparados aos cimentos epóxi, atribuindo esse comportamento à interação química entre o 10-MDP e o cálcio liberado pelo cimento biocerâmico. Esses resultados indicam que, além da remoção dos resíduos, a natureza química do cimento remanescente pode influenciar o comportamento da interface adesiva.

Embora o presente estudo não tenha avaliado a resistência de união, a combinação entre menor persistência de resíduos, maior incidência de túbulos dentinários abertos, preservação da composição mineral e manutenção da microdureza sugere a obtenção de um substrato mais favorável aos procedimentos adesivos. Essa interpretação é consistente com os achados de Tian et al.⁶, que relataram melhor desempenho adesivo em superfícies menos contaminadas por resíduos de cimento endodôntico, e com Costa et al.¹⁰, que

associaram a qualidade da limpeza da dentina à formação de uma interface adesiva mais homogênea e estável.

Do ponto de vista clínico, os resultados reforçam a importância da etapa de limpeza da dentina antes da realização de procedimentos restauradores em dentes tratados endodonticamente. A permanência de resíduos pode comprometer a qualidade da adesão, enquanto protocolos capazes de removê-los preservando simultaneamente a estrutura dentinária tendem a proporcionar condições mais favoráveis para a cimentação de pinos intrarradiculares e para restaurações adesivas. Nesse sentido, os resultados obtidos corroboram os estudos de Gomes et al.⁵, Zaniboni et al.¹¹. e Manzoli et al.¹², que destacam a associação de solventes como uma estratégia promissora para otimizar a limpeza da dentina contaminada por cimentos endodônticos.

Como limitações deste estudo, destaca-se seu delineamento in vitro, que não reproduz completamente as condições clínicas às quais os dentes tratados endodonticamente estão submetidos. Além disso, foram avaliadas apenas as alterações morfológicas, químicas e mecânicas da dentina após os diferentes protocolos de limpeza, não sendo investigado o impacto dessas modificações sobre a resistência de união ou a durabilidade da interface adesiva. Assim, estudos futuros que integrem a caracterização da superfície dentinária à avaliação do desempenho adesivo poderão contribuir para uma compreensão mais abrangente da influência dos protocolos de limpeza na longevidade das restaurações realizadas após o tratamento endodôntico.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a eficiência dos protocolos de limpeza da dentina contaminada por cimento endodôntico está diretamente relacionada à qualidade do substrato obtido para procedimentos restauradores subsequentes. A associação de solventes mostrou-se mais eficaz na redução dos resíduos superficiais, favorecendo maior exposição dos túbulos dentinários e preservando a composição química e as propriedades mecânicas da dentina. Esses achados corroboram as evidências previamente descritas por Gomes et al.⁵, Kuga et al.¹⁴ e Zaniboni et al.¹¹, reforçando que a utilização de solventes com mecanismos de ação complementares constitui uma estratégia promissora para otimizar a limpeza da dentina sem comprometer sua integridade estrutural.

Embora a confirmação clínica desses resultados ainda dependa de estudos que avaliem o desempenho adesivo em longo prazo, as evidências obtidas fornecem informações relevantes sobre a interação entre os protocolos de limpeza e as características da superfície dentinária, contribuindo para a seleção de estratégias capazes de favorecer a previsibilidade das restaurações adesivas realizadas em dentes tratados endodonticamente. Nesse contexto, o presente estudo amplia as evidências disponíveis ao demonstrar, de forma integrada, a influência dos diferentes protocolos de limpeza sobre aspectos morfológicos, químicos e mecânicos da dentina, oferecendo subsídios para futuras investigações e para o aprimoramento dos protocolos clínicos de limpeza após o tratamento endodôntico

6. CONCLUSÃO

Os diferentes protocolos de limpeza influenciaram significativamente a remoção de resíduos de cimento endodôntico da superfície dentinária, bem como as características morfológicas, químicas e mecânicas do substrato. De modo geral, os protocolos baseados na associação de solventes apresentaram maior eficiência na redução dos resíduos remanescentes, favorecendo maior incidência de túbulos dentinários abertos e preservando a composição química e a microdureza da dentina.

Os resultados demonstraram que a eficiência da limpeza está relacionada não apenas à remoção dos resíduos superficiais, mas também à manutenção das características da dentina potencialmente importantes para procedimentos restauradores adesivos. Dessa forma, protocolos capazes de promover limpeza efetiva sem comprometer a integridade do substrato podem proporcionar condições mais favoráveis para a reabilitação de dentes tratados endodonticamente.

Embora os resultados tenham sido obtidos em condições *in vitro*, este estudo amplia o conhecimento sobre a interação entre diferentes protocolos de limpeza e a superfície dentinária contaminada por cimento endodôntico, fornecendo evidências que podem subsidiar a escolha de protocolos clínicos mais eficazes. Estudos futuros que avaliem o desempenho adesivo e a longevidade das restaurações em condições clínicas são necessários para confirmar a aplicabilidade dos achados obtidos.

7. ORIENTAÇÕES

Não houve orientações no período

8. DISCIPLINAS MINISTRADAS COM A RESPECTIVA CARGA HORÁRIA E/OU A REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE EXTENSÃO.

Não houve atividades de ensino ou extensão desenvolvidas no período.

9. REFERÊNCIAS

1. Schwartz RS. Adhesive Dentistry and Endodontics. Part 2: Bonding in the Root Canal System-The Promise and the Problems: A Review. J Endod. 2006;32(12):1125–34.
2. Ekambaram M, Yiu CKY, Matinlinna JP. Bonding of adhesive resin to intraradicular dentine: A review of the literature. Int J Adhes Adhes. 2015;60:92–103.
3. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. Dent Mater J. 2020;39(5):703–20.
4. Roberts S, Kim JR, Gu L sha, Kim YK, Mitchell QM, Pashley DH, et al. The Efficacy of Different Sealer Removal Protocols on Bonding of Self-etching Adhesives to AH Plus-contaminated Dentin. J Endod. 2009;35(4):563–7.
5. Gomes MF, Botta SB, Matos AB, Garone-Netto N. The interference of the cleaning procedure of root walls with two different solvents on the adhesion of fiberglass intraradicular posts. J Contemp Dent Pract. 2012;13(3):275–9.
6. Tian F, Jett K, Flaugh R, Arora S, Bergeron B, Shen Y, et al. Effects of dentine surface cleaning on bonding of a self-etch adhesive to root canal sealer-contaminated dentine. J Dent. 2021;112(August):103766.
7. Al-Haddad A, Aziz ZACA. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. Int J Biomater. 2016;2016:1–10.
8. Silva A, Alencar C, Jassé F, Pedrinha V, Zaniboni J, Dantas A, et al. Effect of post-space irrigation with acid solutions on bond strength and dentin penetrability using a self-adhesive cementation system. J Clin Exp Dent. 2020;13(6):e564-71.

9. Costa JL de SG, Barros APO, Gelio MB, Galvani LD, Vaz LG, Kuga MC. Influence of bioceramic sealer residues on the adhesion interface with a universal adhesive in the etch-and-rinse strategy, based on the application protocol and evaluation time. *Dent Mater J.* 2024;43(4):565–72.
10. Costa JL de SG, Barros APO, Junior AJ, Gelio MB, Dantas AAR, Kuga MC. Influence of residues from bioceramic sealer on the bond interface with universal adhesive in different application modes. *Eur J Oral Sci.* 2024;132(4):e12994.
11. Zaniboni JF, de Souza V, Escalante-Otárola WG, Porto TS, Godoy EF, Kuga MC. Impact of cleansing protocols to remove endodontic sealer residues on the adhesive interface: Bonding with universal adhesive systems. *J Esthet Restor Dent.* 2022;34(7):1077–84.
12. Manzoli TM, Zaniboni JF, Besegato JF, Guiotti FA, Dantas AAR, Kuga MC. Bonding effects of cleaning protocols and time-point of acid etching on dentin impregnated with endodontic sealer. *Restor Dent Endod.* 2022;47(2):1–11.
13. Escalante-Otárola WG, Castro-Núñez GM, Jordão-Basso KCF, Guimarães BM, Palma-Dibb RG, Kuga MC. Evaluation of dentin desensitization protocols on the dentinal surface and their effects on the dentin bond interface. *J Dent.* 2018;75(February):98–104.
14. Kuga MC, Faria G, Rossi MA, Do Carmo Monteiro JC, Bonetti-Filho I, Berbert FLCV, et al. Persistence of epoxy-based sealer residues in dentin treated with different chemical removal protocols. *Scanning.* 2013;35(1):17–21.
15. Belizário LG, Kuga MC, Castro-Núñez GM, Escalante-Otárola WG, Só MVR, Pereira JR. Effects of different peracetic acid formulations on post space radicular dentin. *J Prosthet Dent.* 2018;120(1):92–8.
16. Cecchin D, De Almeida JFA, Gomes BPFA, Zaia AA, Ferraz CCR. Effect of chlorhexidine and ethanol on the durability of the adhesion of the fiber post relined with resin composite to the root canal. *J Endod.* 2011;37(5):678–83.
17. Zaniboni JF, de Souza V, Escalante-Otárola WG, Leandrin TP, Fernández Godoy E, Besegato JF, et al. Cleaning and microstructural effects of amyl acetate on pulp chamber dentin impregnated with epoxy resin-based

- endodontic sealer. *J Esthet Restor Dent*. 2022;34(8):1282–9.
18. Barros APO, Costa JL de SG, Monteiro JC do C, Galvani LD, Andrade MF de, Saad JRC, et al. Effects of the application protocol and bonding strategy of the universal adhesive on dentin previously impregnated with bioceramic sealer. *Int J Adhes Adhes*. 2024;134(April).