



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Odontologia de Araçatuba

BÁRBARA MARIA SEQUIS MASSETTO

**Efeito da redução do tempo de condicionamento ácido e
corrente elétrica na resistência da união de pinos de fibra à
dentina radicular em longo prazo**

Araçatuba - SP

2025

BÁRBARA MARIA SEQUIS MASSETTO

Efeito da redução do tempo de condicionamento ácido e corrente elétrica na resistência da união de pinos de fibra à dentina radicular em longo prazo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Faculdade de Odontologia de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista (UNESP), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Cirurgião-Dentista.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Catelan

Araçatuba - SP

2025

Dedico este trabalho aos meus amados pais Érika e Luiz Adriano, que sacrificaram seus próprios sonhos para que eu pudesse realizar os meus. Obrigada por não terem medido esforços para que fosse possível chegarmos a esse momento. A vocês, todo meu amor, orgulho e admiração por terem feito tudo que podiam por mim, me proporcionado um lar seguro e por terem me ensinado que o conhecimento é algo que nos faz alcançar caminhos inimagináveis.

À minha irmã Laura, que me faz querer ser alguém melhor todos os dias, para ser um modelo de pessoa e profissional que você queira se inspirar. É gratificante compartilhar meu amor por essa profissão com você, e te ver trilhar seu próprio caminho na Odontologia. A você, todo meu carinho e admiração por sempre ter me apoiado e acreditado em mim e por dividir comigo o sonho de se tornar cirurgiã-dentista.

Essa conquista é nossa.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã pelo apoio e incentivo dados durante todos os anos de graduação. Sem vocês eu não estaria aqui. Obrigada por serem sinônimo de amor, carinho e acolhimento. Obrigada por terem acreditado tanto em mim e por não terem medido esforços para que esse momento se tornasse possível.

Aos meus amigos que me acompanharam durante cada fase da minha vida e, em especial, a minha dupla da faculdade, Beatriz Sartori Colman. Obrigada por compartilhar comigo os desafios diários e por me dar a oportunidade de crescer e evoluir ao seu lado. Te ter comigo fez a caminhada mais leve.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, na pessoa do diretor da Faculdade de Odontologia de Araçatuba Prof. Alberto Carlos Botazzo Delbem e do vice-diretor Prof. Luciano Tavares Angelo Cintra.

Aos meus professores, por todo o conhecimento compartilhado durante a graduação e por todo o auxílio durante as atividades clínicas.

Ao professor Douglas Roberto Monteiro por ter aceitado ser parte da banca avaliadora deste trabalho. O convite foi feito a você por ser um profissional que eu admiro muito. Obrigada por todo o conhecimento que o senhor me transmitiu durante as aulas e por toda a calma e segurança que o senhor sempre me passou na clínica.

À doutoranda Karen Milaré Seicento Aidar por ter aceitado ser parte da banca avaliadora deste trabalho. Admiro muito a profissional e pessoa que você é, sempre gentil e disposta a ajudar. Agradeço por sua amizade e pelas conversas no departamento. É muito especial ter você na minha banca.

Ao professor Anderson, pela oportunidade de realizar a iniciação científica e pela orientação durante esse período. Agradeço por todo o auxílio prestado e por toda a dedicação com todos os seus orientados. A maneira como o senhor se preocupa e ensina com calma e paciência me faz perceber que não poderia ter orientador melhor ao meu lado. O senhor é uma inspiração profissional para mim, obrigada por ter contribuído tanto para meu crescimento científico e profissional.

À mestranda Vitória Marques Gomes, por todo auxílio fornecido durante o desenvolvimento da pesquisa. Obrigada pela preocupação e disponibilidade em me ajudar a cada etapa, admiro muito a profissional que você é.

Ao Departamento de Odontologia Restauradora - Faculdade de Odontologia de Araçatuba (UNESP) pela disponibilização do espaço, materiais e equipamentos para a realização da pesquisa.

Ao professor Victor Eduardo de Souza Batista da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE) e ao professor Rafael Pino Vitti da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Universidade de Campinas (FOP/UNICAMP) por terem contribuído no desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo nº 2024/06897-7.

“Aquilo que se faz por amor está sempre além do bem e do mal.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

MASSETTO, B. M. S. **Efeito da redução do tempo de condicionamento ácido e corrente elétrica na resistência da união de pinos de fibra à dentina radicular em longo prazo.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araçatuba, 2025.

O objetivo neste estudo foi avaliar o efeito do condicionamento ácido da dentina do conduto radicular por 3 s e da aplicação de um sistema adesivo universal sob corrente elétrica na durabilidade da resistência de união de pinos de fibra cimentados com um sistema de cimentação resinoso nos diferentes terços da raiz. Quarenta raízes bovinas ($n = 10$) com comprimento de 15 mm foram usadas, as quais tiveram o canal radicular tratado endodonticamente e preparados (10 mm) para cimentação de um pino de fibra de vidro cônico de acordo com o protocolo adesivo (*etch-and-rinse* ou *self-etch*) e a aplicação do sistema adesivo sob corrente elétrica (0 ou 35 μA). Para o protocolo *etch-and-rinse*, o condicionamento ácido da dentina foi realizado por 3 s usando ácido fosfórico 35%, seguido pela aplicação de um adesivo universal sob corrente elétrica ou não. Na técnica *self-etch*, o adesivo foi aplicado como descrito, porém sem condicionamento ácido. Então, foi realizada a inserção de um cimento resinoso *dual* sem amina no conduto radicular com auxílio de uma ponta agulhada e do pino de fibra, seguida pela fotoativação por 40 s usando um LED *polywave* com irradiância de 1.000 mW/cm^2 . Após 24 h, as raízes foram submetidas à 20.000 ciclos térmicos (5 e 55°C) e seccionadas em cortadeira para obtenção de 6 fatias de 1,2 mm de espessura (2 fatias para cada terço: cervical, médio e apical). A resistência de união foi mensurada pelo ensaio de *push out* usando uma máquina universal de ensaios. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pela ANOVA dois critérios e pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). A associação da aplicação do adesivo universal após o condicionamento ácido da dentina por 3 s e sob corrente elétrica promoveu maior resistência de união ($9,51 \pm 2,11$), enquanto a aplicação apenas no modo autocondicionante resultou na menor adesão ($7,99 \pm 2,44$). O uso apenas do condicionamento ácido por 3 s ($8,57 \pm 2,06$) e corrente elétrica ($8,63 \pm 2,41$), promoveu valores intermediários de resistência de união, sem diferença estatística entre si e

entre os demais grupos. O terço cervical apresentou a maior resistência de união ($10,39 \pm 2,27$), seguido pelos terços médio ($7,92 \pm 1,85$) e apical ($7,70 \pm 1,71$), estes sem diferença significativa entre si. Desta forma, pode-se concluir que a aplicação do adesivo universal após o condicionamento ácido por 3 s e sob corrente elétrica poderia ser uma alternativa viável para aumentar a durabilidade da adesão de pinos de fibra à dentina radicular, sendo a maior resistência de união observada no terço cervical.

Palavras-chave: Adesivos Dentinários; Cimentos de Resina; Condicionamento Ácido do Dente; Iontoforese; Técnica para Retentor Intrarradicular.

ABSTRACT

MASSETTO, B. M. S. **Effect of reduced acid etching time and electrical current on the long-term bond strength of fiber posts to root dentin.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araçatuba, 2025.

The aim in this study was to evaluate the effect of acid etching of root canal dentin for 3 s and the application of a universal adhesive system under electric current on the long-term bond strength durability of fiber posts luted with a resin-based luting system. Forty bovine roots ($n = 10$) measuring 15 mm in length were used, with endodontically treated and prepared root canals (10 mm) for luting of a tapered glass fiber post according to adhesive protocol (etch-and-rinse or self-etch) and the application of the adhesive system under electric current (0 or 35 μA). For the etch-and-rinse protocol, acid etching of the dentin was performed for 3 s using 35% phosphoric acid, followed by the application of a universal adhesive with or without electric current. In self-etch technique, the adhesive was applied as described but without acid etching. Then, a dual-cure amine-free resin cement was inserted into the root canal using a needle tip and the fiber post, followed by light curing for 40 s with a polywave LED with an irradiance of 1,000 mW/cm^2 . After 24 h, the roots were subjected to 20,000 thermal cycles (5 and 55°C) and sectioned using a saw to obtain six slices of 1.2 mm thickness (two slices for each third: cervical, middle, and apical). Bond strength was measured by a push-out test using a universal testing machine. Data obtained were statistically analyzed by two-way ANOVA and Tukey's test ($\alpha = 0.05$). The combination of the application of universal adhesive after dentin acid etching for 3 s and under electric current promoted higher bond strength (9.51 ± 2.11), while the application only in self-etching mode resulted in lower adhesion (7.99 ± 2.44). The use of only acid etching for 3 s (8.57 ± 2.06) or electric current (8.63 ± 2.41) promoted intermediate values of bond strength, with no statistical difference between them and between the other groups. The cervical third showed the highest bond strength (10.39 ± 2.27), followed by the middle (7.92 ± 1.85) and apical (7.70 ± 1.71) thirds, these without significant difference between them. Thus, it can be concluded that the application of universal adhesive

after acid etching for 3 s and under electric current could be a viable alternative to increase the durability of the adhesion of fiber posts to root dentin, with the highest bond strength observed in the cervical third.

Keywords: Dentin Adhesives; Resin Cements; Dental Acid Etching; Iontophoresis; Intraradicular Retention Technique.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos experimentais.	20
Tabela 2 - Média (desvio padrão) da resistência de união (MPa) de acordo com o protocolo de aplicação do adesivo universal e o terço da raiz.	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
E&R	<i>Etch-and-rinse</i>
h	Horas
KgF	Quilogramas-força
min	Minutos
mL	Mililitros
mm	Milímetros
mm/s	Milímetros por segundo
mm ²	Milímetros quadrado
MPa	MegaPascal
mW/cm ²	Miliwatts por centímetro quadrado
N	Newtons
s	Segundos
SE	<i>Self-etch</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
<	Menor que
=	Igual
°C	Graus celsius
μA	Microamperes
x	Vezes
α	Alfa
π	Pi

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 Delineamento experimental	17
3.2 Confeção dos espécimes	17
3.2.1 Seleção dos dentes e padronização dos espécimes	17
3.2.2 Técnica endodôntica	18
3.2.3 Preparo intrarradicular	18
3.2.4 Tratamento de superfície do pino de fibra de vidro	19
3.2.5 Procedimento de cimentação	19
3.2.6 Ciclagem térmica	20
3.2.7 Seccionamento das raízes em terços	21
3.2.8 Resistência da união	21
3.3 Análise estatística	22
4 RESULTADOS	23
5 DISCUSSÃO	24
6 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

Na reabilitação de dentes tratados endodonticamente com grande destruição coronária, o uso de retentores intrarradiculares pré-fabricados em fibra de vidro tem sido amplamente empregados em relação aos tradicionais núcleos metálicos fundidos, por proporcionarem maiores benefícios quanto às suas propriedades mecânicas e menor risco de fratura radicular.¹⁻³ Os pinos de fibra possuem alta resistência à flexão e módulo de elasticidade mais próximo ao da dentina radicular em comparação às ligas fundidas;⁴⁻⁷ portanto, ao receberem as forças mastigatórias possuem uma distribuição de tensões mais homogênea nas paredes da raiz, o que faz com que seu desempenho seja melhor e mais parecido com a dentina natural, e em caso de forças excessivas, reduz a chance de fratura da mesma.^{1,6} Além disso, estes retentores em fibra de vidro são mais estéticos e reduzem o risco de pigmentação gengival na superfície radicular, causada pela deposição de produtos corrosivos das ligas metálicas.⁶

Apesar dos pinos de fibra de vidro favorecerem a fotoativação, em geral um menor grau de polimerização é observado na região mais profunda do conduto radicular.⁶ Portanto, é indicado o uso de cimentos resinosos de dupla polimerização (*dual*), com ativação química e ativação física pela luz, sendo a polimerização química desempenhada principalmente nas porções mais profundas do canal radicular, onde a luz não atinge intensidade satisfatória.⁶ Uma vez que a polimerização química é menos efetiva, a adesão nessas porções apicais é mais crítica, pois não há fotoativação eficiente para a polimerização adequada do cimento resinoso nessa porção, muitas vezes prejudicando a estabilização mecânica e a adesão dos pinos de fibra de vidro aos canais endodonticamente tratados.⁶ Além disso, a conformação anatômica do conduto radicular propicia um alto valor de configuração cavitária (Fator C), o que também prejudica sua resistência de união à dentina radicular.⁸

Desta forma, falhas adesivas no interior do canal radicular podem ocorrer e resultar no deslocamento dos retentores intrarradiculares.^{9,10} Ademais, a infiltração incompleta do sistema adesivo na zona de dentina desmineralizada tem sido reportada, tanto para adesivos de condicionamento ácido total (*etch-and-rinse*) quanto para autocondicionantes (*self-etch*), com a permanência de fibras colágenas expostas e não impregnadas pela resina fluída.¹¹ Em longo prazo, a diminuição da adesão de

materiais resinosos tem sido atribuída à degradação do colágeno exposto e do polímero na interface adesiva por hidrólise e atividade enzimática.^{11,12}

A composição dos pinos de fibra de vidro é compatível com o monômero Bis-GMA (bisfenol A glicidil metacrilato), que está presente na maioria dos sistemas adesivos e cimentos resinosos.⁴ Os cimentos *duais* possuem vantagens mecânicas em sua resistência à flexão, dureza, módulo de elasticidade e alto grau de conversão em relação a outros materiais, quando a fotoativação é reduzida.^{13,14} Os cimentos resinosos *duais* convencionais são propensos à alteração de cor, que é o principal problema em reabilitações estéticas, devido à fatores intrínsecos que incluem a composição do material, como amina terciária, que tende a escurecer com o tempo.¹⁵ Uma alternativa para contornar este problema, são os cimentos resinosos *duais* sem amina, que não possuem sistema redox de amina,¹⁵ e promovem estabilidade de cor em longo prazo, o que é conveniente para preservar a estética^{14,15} e minimizam a incompatibilidade entre as aminas terciárias e monômeros ácidos de adesivos simplificados (*etch-and-rinse* e *self-etch*) e cimentos resinosos de polimerização química e *dual*.¹⁶

Com o objetivo de melhorar a qualidade da interface de união, o condicionamento ácido da dentina por um curto período de tempo (3 s), também denominado “seletivo”, tem sido recomendado para sistemas adesivos universais,¹⁷⁻²⁰ propiciando aumento da resistência de união imediata e em longo prazo, pela melhor interação de adesivos universais à dentina condicionada por tempo reduzido em procedimentos restauradores.^{17,18} Assim, possivelmente esta estratégia seria interessante para aumentar a adesão de pinos de fibra à dentina do conduto radicular fixados com cimentos resinosos que necessitam de sistema adesivo universal para hibridização, uma vez que este procedimento poderia melhorar a interação do adesivo universal pela remoção da *smear layer* sem a superexposição de colágeno desmineralizado e sem a redução no conteúdo de cálcio disponível na interface de união para adesão química promovida pelos monômeros funcionais, como o MDP (10-metacriloiloxidecil dihidrogenofosfato).¹⁹

Uma outra alternativa para melhorar a interação do sistema adesivo é sua aplicação sob corrente elétrica, por aumentar a infiltração resinosa pelo princípio da iontoforese, que induz elétrons através do tecido dentinário, onde a dentina carregada positivamente (ânodo) repele substâncias químicas carregadas positivamente,

enquanto o dispositivo de aplicação do adesivo, carregado negativamente (cátodo), repele substâncias químicas carregadas negativamente. Desta forma, pelo fluxo de elétrons gerado, a corrente elétrica propulsiona os monômeros polares do adesivo para a dentina e o efeito eletrostático favorece a evaporação da água, além de diminuir o ângulo de contato entre o adesivo e a dentina.^{21,22}

Entretanto, a literatura é escassa em pesquisas acerca do efeito do condicionamento ácido da dentina por tempo reduzido associado à aplicação do sistema adesivo sob corrente elétrica na cimentação de pinos de fibra, o que poderia aumentar a infiltração do adesivo universal e consequentemente reduzir a degradação da interface de união dente-resina, o que poderia propiciar uma melhora na qualidade da interface adesiva com possível aumento da durabilidade da adesão de pinos de fibra à dentina radicular.

2 OBJETIVO

O propósito neste estudo foi avaliar o efeito do condicionamento ácido da dentina do conduto radicular por 3 s e da aplicação de um sistema adesivo universal sob corrente elétrica na durabilidade da resistência de união de pinos de fibra de vidro cimentados com um cimento resinoso *dual* sem amina terciária. As hipóteses nulas foram que não haveria diferença na resistência de união entre (1) os protocolos de aplicação do adesivo universal e (2) terços da raiz.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento experimental

Unidades experimentais: 40 raízes bovinas (n = 10).

Fatores em estudo:

Protocolo de aplicação do adesivo universal em quatro níveis:

- Autocondicionante e sem corrente elétrica (controle);
- Autocondicionante e sob corrente elétrica;
- Condicionamento ácido por 3 s e sem corrente elétrica;
- Condicionamento ácido por 3 s e sob corrente elétrica.

Terço radicular em três níveis:

- Cervical;
- Médio;
- Apical.

Variável de resposta: resistência de união por *push out*.

Forma de designação: processo aleatório por meio de sorteio.

3.2 Confeção dos espécimes

3.2.1 Seleção dos dentes e padronização dos espécimes

Neste estudo foram usadas 40 raízes bovinas unirradiculares (n = 10), retas, com dimensões similares, recém-extraídas, ápices fechados, sem trincas e sem alterações de forma. Para isso, os dentes foram desinfetados em timol 0,1% por 7 dias

e armazenados em água destilada a 37°C por até 3 meses. Após esta etapa, as raízes foram marcadas e padronizadas no comprimento de 15 mm e seccionadas com disco diamantado dupla face (KG, Cotia, SP, Brasil), em baixa rotação e sob refrigeração, com o objetivo de separar as raízes de suas coroas. Então, as raízes foram fixadas com cera em placas de acrílico e seccionadas perpendicularmente ao seu longo eixo com disco diamantado (Buehler, Lake Bluff, IL, EUA) que foi acoplado à cortadeira metalográfica (Isomet 1000, Buehler) de modo a padronizá-las no comprimento de 15 mm.

O número mínimo de espécimes necessários para a realização da metodologia de resistência de união por *push-out* determinado foi 9 espécimes por grupo. Então, foi estabelecido um $n = 10$, sendo o cálculo amostral realizado pelo *Sample Size Calculator* de médias estimadas, obtidas por meio de dados disponíveis de um estudo prévio²³ com poder estatístico de 80% ($\alpha = 0,05$).

3.2.2 Técnica endodôntica

As raízes foram instrumentadas até o comprimento de trabalho, 1 mm aquém do ápice, com limas do tipo K (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suíça), sendo os dentes instrumentados pela técnica seriada utilizando a 2ª série (#45- #80) no comprimento de trabalho. A cada troca de instrumento, os canais radiculares foram irrigados com 5 mL de solução salina fisiológica. Após a instrumentação, os canais radiculares foram secos com cones de papel absorventes nº 80. A obturação foi realizada pela técnica de condensação lateral ativa, utilizando-se cones de guta-percha (R3, R5 e cones acessórios/Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil) e o cimento endodôntico AH Plus (Dentsply). Após a finalização do tratamento endodôntico os canais foram vedados com 2 mm de selador a base de óxido de zinco sem eugenol (Coltosol; Vigodent, Rio de Janeiro, RJ, Brasil). As raízes foram armazenadas em água destilada por 7 dias em estufa a 37°C.

3.2.3 Preparo intrarradicular

O preparo intrarradicular foi realizado com broca Gates-Glidden nº 2 a 5 (Dentsply/Maillefer) para a remoção de guta-percha no comprimento de 10 mm,

controlado por cursor, correspondendo ao comprimento do pino no interior da raiz, permanecendo 4 mm de obturação no canal radicular. Em seguida a sequência de brocas (#1 - 3) do próprio kit do pino Exacto (Angelus, Londrina, PR, Brasil) foi inserida em movimento único, no interior do canal até o comprimento de 10 mm, feita a limpeza com água destilada e secagem. Em seguida, um pino padrão foi posicionado no interior do mesmo para se verificar o correto preparo do conduto radicular. Após a finalização do preparo intrarradicular, foi realizada a irrigação com água destilada (5 mL) para remoção dos debris dentinários, secagem com cones de papel absorventes nº 80 (Dentsply).

3.2.4 Tratamento de superfície do pino de fibra de vidro

Para todos os grupos experimentais os pinos de fibra de vidro Exacto nº 3 (Angelus) foram previamente limpos com gaze estéril umedecida com álcool 70%, seguida da aplicação do silano (Angelus) por 1 min conforme as recomendações do fabricante do pino. Em seguida, foi aplicado o adesivo puro do Scotchbond Multipurpose (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA), o qual foi fotoativado por 10 s usando um aparelho LED (*light emitting-diode*) de terceira geração (Valo Grand; Ultradent Inc., South Jordan, UT, EUA), com irradiância de 1000 mW/cm², com monitoramento constante por meio de radiômetro (modelo L.E.D. Radiometer; Kerr Corporation, Middleton, WI, EUA).

3.2.5 Procedimento de cimentação

Uma camada do sistema adesivo Single Bond Universal (3M ESPE) foi aplicada na dentina do conduto radicular de forma ativa por 20 s (*self-etch*), com auxílio de um aplicador metálico próprio do dispositivo de corrente elétrica contínua ajustado em 35 µA.²² Durante a aplicação do adesivo sob corrente elétrica, a carga positiva (ânodo) foi conectada ao dente pelo uso do aplicador do adesivo e a carga negativa (cátodo) foi conectada à uma esponja no qual foi posicionado o dente, estabelecendo assim um circuito elétrico acarretando uma estimulação da corrente elétrica constante do monômero resinoso. Em seguida, o excesso de adesivo foi removido com pontas de papel absorventes #40 e a volatilização dos solventes foi

realizada com um jato de ar por 5 s a 20 cm de distância. Nos grupos sem corrente elétrica, o adesivo universal foi aplicado do mesmo modo, mas sem o uso de corrente elétrica (0 μ A).

Para os grupos em que foi realizado o condicionamento ácido da dentina (*etch-and-rinse*), foi aplicado um ácido fosfórico 35% (Ultra-Etch, Ultradent Inc.) por 3 s¹⁹ no conduto radicular, realizada a lavagem com água destilada e secagem com cones de papel absorvente, mantendo a umidade dentinária. Em seguida, foi realizada a aplicação do adesivo universal como previamente descrito (com ou sem uso da corrente elétrica). Então, o cimento resinoso dual sem amina terciária, RelyX Ultimate (3M ESPE), foi dispensado na proporção 1:1 sobre um bloco de papel impermeável e espatulado até a completa homogeneização do agente de cimentação. A seguir, ele foi inserido no interior do conduto radicular com auxílio da ponta agulhada da seringa do tipo “Centrix”. Então, o pino de fibra de vidro foi posicionado, estabilizado manualmente no interior do canal radicular e os excessos do cimento foram removidos com pincel descartável. Após 5 min,²⁴ a fotoativação foi realizada com o aparelho Valo Grand (Ultradent Inc.), 20 s na face vestibular e 20 s por lingual da raiz. Os espécimes foram armazenados em água destilada e mantidos em estufa à 37°C por 24 h. Os grupos do estudo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Grupos experimentais.

Grupo	Condicionamento ácido	Corrente elétrica
SE-0	---	0 μ A
SE-35		35 μ A
E&R-0	3 s	0 μ A
E&R-35		35 μ A

SE-0: *self-etch* e 0 μ A; SE-35: *self-etch* e 35 μ A; E&R-0: *etch-and-rinse* e 0 μ A; E&R-35: *etch-and-rinse* e 35 μ A

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

3.2.6 Ciclagem térmica

Após o procedimento de cimentação, os espécimes foram submetidos à 20.000 ciclos térmicos (modelo 521.4, Ética Equip. Cient. S. A., São Paulo, SP, Brasil)

em banhos alternados de 5 e 55°C durante 30 s de permanência em cada temperatura e 8 s de tempo de transferência.²⁵

3.2.7 Seccionamento das raízes em terços

Para a realização dos cortes, as raízes foram fixadas com cera em placas de acrílico e posteriormente seccionadas perpendicularmente ao seu longo eixo com disco diamantado (Buehler, Lake Bluff, IL, EUA) que foi acoplado à cortadeira metalográfica (Isomet 1000, Buehler). O primeiro corte foi realizado a partir da região cervical, descartando-se o primeiro milímetro, seguido por mais 6 cortes a cada 1,5 mm (disco com 0,3 mm de espessura). Assim, foram obtidas seis fatias com espessura de aproximadamente 1,2 mm, sendo duas de cada terço da raiz: cervical, médio e apical.²⁶

Para o teste de resistência de união por *push out*, as fatias foram identificadas com lápis na face voltada para apical e mantidas em água destilada em microtubo em estufa a 37°C por 24 h, conforme o respectivo grupo e terço.

3.2.8 Resistência da união

Os espécimes foram posicionados em uma base metálica em aço inoxidável contendo um orifício de 3 mm de diâmetro interno na região central. As secções radiculares contendo o pino de fibra de vidro foram posicionadas exatamente na mesma direção do orifício da base metálica. Todo o conjunto foi posicionado na base da máquina de ensaio universal (23-2S; INSTRON-EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil) dotada de carga de 50 KgF. Uma haste metálica com ponta ativa de 1 mm de diâmetro foi fixada no mordente da máquina e posicionada no centro do pino de fibra de vidro. O ensaio de *push out* foi conduzido à velocidade de 0,5 mm/s até a fratura. A força necessária para a fratura foi obtida em KgF e convertida em Newton (N), multiplicando-se pela força da gravidade (9,8). A área adesiva (A) do tronco cônico (mm²) foi calculada pela fórmula: $A = \pi (R1 + R2) [(R1 + R2)^2 + h^2]^{1/2}$; onde R1 representa o raio do canal radicular coronal, R2 representa o raio do canal radicular apical e h representa a espessura da fatia.²⁶ A resistência de união foi obtida em MPa pela divisão da força (N) necessária para a fratura dividida pela área adesiva (mm²).

3.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram tabulados e analisados estatisticamente pela Análise de Variância (ANOVA) dois critérios e as comparações múltiplas foram realizadas por meio do teste de Tukey com nível de significância de 5% (Assistat 7.7, Campina Grande, PB, Brasil).

4 RESULTADOS

A ANOVA mostrou diferença significativa para os fatores “Protocolo de aplicação do adesivo universal” ($p = 0,0295$) e “Terço da raiz” ($p < 0,0001$), enquanto não foi observada diferença estatística para a interação dos fatores ($p = 0,9692$). A associação da aplicação do adesivo universal após o condicionamento ácido da dentina por 3 s e sob corrente elétrica promoveu maior resistência de união ($9,51 \pm 2,11$), enquanto a aplicação apenas no modo autocondicionante resultou na menor adesão ($7,99 \pm 2,44$). O uso apenas do condicionamento ácido por 3 s ($8,57 \pm 2,06$) e corrente elétrica ($8,63 \pm 2,41$), promoveu valores intermediários de resistência de união, sem diferença estatística entre si e entre os demais grupos. O terço cervical apresentou a maior resistência de união ($10,39 \pm 2,27$), seguido pelos terços médio ($7,92 \pm 1,85$) e apical ($7,70 \pm 1,71$), estes sem diferença significativa entre si (Tabela 2).

Tabela 2 - Média (desvio padrão) da resistência de união (MPa) de acordo com o protocolo de aplicação do adesivo universal e o terço da raiz.

Protocolo adesivo	Terço da raiz			Médias agrupadas
	Cervical	Médio	Apical	
SE-0	9,82 (2,24)	7,47 (2,04)	6,69 (2,01)	7,99 (2,44) b
SE-35	10,17 (3,03)	8,11 (1,73)	7,61 (1,57)	8,63 (2,41) ab
E&R-0	10,31 (1,84)	7,48 (1,89)	7,91 (1,24)	8,57 (2,06) ab
E&R-35	11,31 (1,83)	8,63 (1,74)	8,58 (1,59)	9,51 (2,11) a
Médias agrupadas	10,39 (2,27) A	7,92 (1,85) B	7,70 (1,71) B	

*Letras distintas maiúsculas comparam os terços da raiz e letras distintas minúsculas comparam os protocolos de aplicação do adesivo universal, indicando diferença significativa ($p < 0,05$). SE-0: *self-etch* e 0 μA ; SE-35: *self-etch* e 35 μA ; E&R-0: *etch-and-rinse* e 0 μA ; E&R-35: *etch-and-rinse* e 35 μA .

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

5 DISCUSSÃO

Rotineiramente os pinos de fibra de vidro têm sido usados após a finalização do tratamento endodôntico em casos em que o comprometimento estrutural da coroa dentária é significativo, com o objetivo de aumentar a retenção da restauração direta ou indireta,¹⁻³ por serem estéticos,⁶ além de apresentar adequada resistência à flexão e módulo de elasticidade similar ao da dentina radicular.⁴⁻⁷ Por estas propriedades mecânicas dos pinos de fibra serem parecidas com as da dentina, a distribuição das tensões na raiz é mais homogênea durante as forças mastigatórias, o que reduz a chance de fratura em caso de força excessiva.^{1,6}

Apesar das vantagens do uso dos pinos de fibra, falhas adesivas podem levar ao seu deslocamento.^{9,10} Assim, a avaliação de protocolos adesivos para cimentação destes pinos é de grande relevância para o aprimoramento da prática clínica e aumentar longevidade da adesão. De acordo com os resultados obtidos neste estudo a primeira hipótese nula foi rejeitada, uma vez que os diferentes protocolos de aplicação do sistema universal usados previamente ao cimento resinoso promoveram valores de resistência de união distintos.

O modo *etch-and-rinse* associado à aplicação do sistema adesivo universal sob corrente elétrica foi o que apresentou a maior resistência de união. Já a aplicação do adesivo universal no modo *self-etch* sem o uso da corrente elétrica resultou na menor resistência de união. E por fim, o modo autocondicionante associado com o uso da corrente elétrica e o modo convencional sem a corrente elétrica apresentaram valores intermediários de adesão, sem diferença significativa quando comparados com os grupos previamente descritos.

Tradicionalmente, os sistemas adesivos universais podem ser aplicados nas técnicas *etch-and-rinse* e *self-etch*, esta última técnica com o condicionamento seletivo do esmalte quando presente. Já a estratégia do condicionamento ácido da dentina por um curto período de tempo (3 s) é relativamente nova e propicia o aumento da resistência de união imediata e sua longevidade, pela melhor interação de adesivos universais à dentina.^{17,18} Desta forma, esta estratégia poderia ser interessante para aumentar a adesão de pinos de fibra à dentina do conduto radicular fixados com cimentos resinosos que necessitam de sistema adesivo universal para hibridização, como observado no presente estudo. Resultado que poderia ser explicado pela melhor

interação do adesivo universal com dentina pela remoção da *smear layer* sem a superexposição de colágeno desmineralizado e sem a redução no conteúdo de cálcio disponível na interface de união para adesão química promovida pelos monômeros funcionais, como o MDP.¹⁹

Já a outra alternativa para melhorar a interação do sistema adesivo usada nesta investigação foi sua aplicação sob corrente elétrica, o que aumenta a infiltração resinosa pelo princípio da iontoforese, que induz elétrons através do tecido dentinário, onde a dentina carregada positivamente (ânodo) repele substâncias químicas carregadas positivamente, enquanto o dispositivo de aplicação do adesivo, carregado negativamente (cátodo), repele substâncias químicas carregadas negativamente. Desta forma, pelo fluxo de elétrons gerado, a corrente elétrica propulsiona os monômeros polares do adesivo para a dentina e o efeito eletrostático favorece a evaporação da água, além de diminuir o ângulo de contato entre o adesivo e a dentina, o que propicia a melhoria das propriedades do sistema adesivo e sua infiltração na dentina.^{21,22} Sendo considerado um procedimento seguro para preservar a viabilidade das células pulpares quando é usado corrente elétrica de até 70 μ A.²⁷

Todavia, quando ambas estratégias foram associadas resultaram no aumento significativo da durabilidade da resistência de união. Assim, possivelmente o condicionamento ácido da dentina por 3 s melhorou a interação de adesivos universais à dentina,^{17,18} o que foi melhorado pela sua aplicação sob corrente elétrica, aumentando a estabilidade da adesão do adesivo universal à dentina do conduto radicular. Neste estudo, após a realização dos protocolos de cimentação, as raízes foram submetidas à 20.000 ciclos térmicos, o que corresponderia a aproximadamente 2 anos de uso clínico²⁸ e simulam a contração e expansão que as estruturas sofrem durante o consumo de alimentos/bebidas geladas e quentes, respectivamente. A melhor infiltração resinosa na matriz dentinária torna o substrato dental menos permeável e melhora a qualidade da camada híbrida,²¹ o que reduz a degradação do colágeno exposto e do polímero na interface adesiva por hidrólise,^{11,12} além de minimizar os efeitos deletérios causados pelas MMPs (metaloproteinases) e aumentar a longevidade da restauração.²¹

Em relação aos terços da raiz, o terço cervical foi o que apresentou a maior resistência de união, rejeitando também a segunda hipótese nula. Apesar dos pinos de fibra de vidro favorecerem a fotoativação, a transmissão de luz através do pino não

é suficiente e resulta em uma polimerização inadequada, o que compromete a adesão nas porções mais apicais do canal radicular.⁶ Assim, uma menor intensidade da luz irá atingir o material resinoso quanto maior a profundidade, devido à dispersão da luz que ocorre quando a luz da unidade de fotoativação passa através do material,²⁹ e a redução nas propriedades mecânicas do material impactam em uma menor resistência de união.⁶ Por isso, os cimentos resinosos *duais* são indicados para cimentação destes pinos, sendo importante a polimerização química nas porções mais profundas do conduto da raiz, onde a luz não atinge intensidade satisfatória.⁶ Além disso, a conformação anatômica do conduto radicular propicia um alto valor Fator C e maior contração de polimerização,⁸ assim como as características e heterogeneidade da dentina intrarradicular como menor densidade e orientação dos túbulos dentinários,²⁹ também podem prejudicar sua resistência de união à dentina da raiz.

Portanto, as estratégias avaliadas neste estudo *in vitro* propiciaram o melhor entendimento da longevidade da adesão de pinos de fibra de vidro à dentina radicular, evidenciando que o condicionamento ácido da dentina radicular por 3 s e a aplicação do sistema adesivo sob corrente elétrica poderiam ser métodos efetivos para aumentar a durabilidade de procedimentos que necessitem da cimentação de um pino de fibra, com o objetivo de aumentar a retenção da restauração direta ou indireta, sem aumento significativo do tempo operatório. Porém estudos clínicos são necessários para embasamento científico, além de necessitar destreza para realização do condicionamento do conduto por este curto período de tempo e a necessidade de aquisição de um equipamento para aplicação do adesivo sob corrente elétrica.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que o uso do sistema adesivo universal avaliado após o condicionamento ácido por 3 s associado à sua aplicação sob corrente elétrica poderia ser uma alternativa viável para aumentar a longevidade da adesão de pinos de fibra à dentina radicular, sendo que a maior resistência de união foi observada no terço cervical da raiz.

REFERÊNCIAS

1. VERÍSSIMO, C.; SIMAMOTO JÚNIOR, P. C.; SOARES, C. J.; NORITOMI, P. Y.; SANTOS-FILHO, P. C. Effect of the crown, post, and remaining coronal dentin on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary central incisors. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 111, n. 3, p. 234-246, 2014.
2. FIGUEIREDO, F. E.; MARTINS-FILHO, P. R.; FARIA-E-SILVA, A. L. Do metal post-retained restorations result in more root fractures than fiber post-retained restorations? A systematic review and meta-analysis. **Journal of Endodontics**, v. 41, n. 3, p. 309-316, 2015.
3. PATTHANAWIJIT, L.; YANPISET, K.; SAIKAEW, P.; JANTARAT, J. Fiber post cemented using different adhesive strategies to root canal dentin obturated with calcium silicate-based sealer. **BMC Oral Health**, v. 24, n. 1, p. 1290, 25 out. 2024.
4. BARCELLOS, R. R.; CORREIA, D. P.; FARINA, A. P.; MESQUITA, M. F.; FERRAZ, C. C.; CECCHIN, D. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with intra-radicular post: the effects of post system and dentine thickness. **Journal of Biomechanics**, v. 46, n. 15, p. 2572-2577, 2013.
5. ONA, M.; WAKABAYASHI, N.; YAMAZAKI, T.; TAKAICHI, A.; IGARASHI, Y. The influence of elastic modulus mismatch between tooth and post and core restorations on root fracture. **International Endodontic Journal**, v. 46, n. 1, p. 47-52, 2013.
6. RODRIGUES, R. V.; SAMPAIO, C. S.; PACHECO, R. R.; PASCON, F. M.; PUPPIN-RONTANI, R. M.; GIANNINI, M. Influence of adhesive cementation systems on the bond strength of relined fiber posts to root dentin. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 118, n. 4, p. 493-499, 2017.
7. TSOLOMITIS, P.; DIAMANTOPOULOU, S.; PAPAZOGLU, E. Contemporary concepts of adhesive cementation of glass-fiber posts: a narrative review. **Journal of Clinical Medicine**, v. 13, n. 12, p. 3479, 14 jun. 2024.
8. AKSORNMUANG, J.; NAKAJIMA, M.; SENAWONGSE, P.; TAGAMI, J. Effects of C-factor and resin volume on the bonding to root canal with and without fibre post insertion. **Journal of Dentistry**, v. 39, n. 6, p. 422-429, 2011.
9. CECCHIN, D.; DE ALMEIDA, J. F.; GOMES, B. P.; ZAIA, A. A.; FERRAZ, C. C. Influence of chlorhexidine and ethanol on the bond strength and durability of the adhesion of the fiber posts to root dentin using a total etching adhesive system. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 9, p. 1310-1315, 2011.
10. SHAFIEI, F.; MEMARPOUR, M.; SARAFRAZ, Z. Effect of dimethyl sulfoxide on bond durability of fiber posts cemented with etch-and-rinse adhesives. **Journal of Advanced Prosthodontics**, v. 8, n. 4, p. 251-258, 2016.

11. CARVALHO, R. M.; CHERSONI, S.; FRANKENBERGER, R.; PASHLEY, D. H.; PRATI, C.; TAY, F. R. A challenge to the conventional wisdom that simultaneous etching and resin infiltration always occurs in self-etch adhesives. **Biomaterials**, v. 26, n. 9, p. 1035-1042, 2005.
12. HASHIMOTO, M.; OHNO, H.; KAGA, M.; ENDO, K.; SANO, H.; OGUCHI, H. Resin-tooth adhesive interfaces after long-term function. **American Journal of Dentistry**, v. 14, n. 4, p. 211-215, 2001.
13. FURUSE, A. Y.; SANTANA, L. O. C.; RIZZANTE, F. A. P.; ISHIKIRIAMA, S. K.; BOMBONATTI, J. F.; CORRER, G. M.; GONZAGA, C. C. Delayed light activation improves color stability of dual-cured resin cements. **Journal of Prosthodontics**, v. 27, n. 5, p. 449-455, 2018.
14. YANG, Y.; WANG, Y.; YANG, H.; CHEN, Y.; HUANG, C. Effect of aging on color stability and bond strength of dual-cured resin cement with amine or amine-free self-initiators. **Dental Materials Journal**, v. 41, n. 1, p. 17-26, 2022.
15. URAL, Ç.; DURAN, İ.; TATAR, N.; ÖZTÜRK, Ö.; KAYA, İ.; KAVUT, İ. The effect of amine-free initiator system and the polymerization type on color stability of resin cements. **Journal of Oral Science**, v. 58, n. 2, p. 157-161, 2016.
16. MELO, R. M.; OZCAN, M.; BARBOSA, S. H.; GALHANO, G.; AMARAL, R.; BOTTINO, M. A.; VALANDRO, L. F. Bond strength of two resin cements on dentin using different cementation strategies. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 22, n. 4, p. 262-268, 2010.
17. TAKAMIZAWA, T.; BARKMEIER, W. W.; TSUJIMOTO, A.; SUZUKI, T.; SCHEIDEL, D. D.; ERICKSON, R. L.; LATTI, M. A.; MIYAZAKI, M. Influence of different pre-etching times on fatigue strength of self-etch adhesives to dentin. **European Journal of Oral Sciences**, v. 124, n. 2, p. 210-218, 2016.
18. ISMAIL, H. S.; SOLIMAN, H. A. N. Short dentin etching with universal adhesives: effect on bond strength and gingival margin adaptation. **BMC Oral Health**, v. 25, n. 1, p. 128, 23 jan. 2025.
19. STAPE, T. H. S.; WIK, P.; MUTLUAY, M. M.; AL-ANI, A. A. S.; TEZVERGIL-MUTLUAY, A. Selective dentin etching: A potential method to improve bonding effectiveness of universal adhesives. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 86, p. 14-22, 2018.
20. STAPE, T. H. S.; VIITA-AHO, T.; SEZINANDO, A.; WIK, P.; MUTLUAY, M.; TEZVERGIL-MUTLUAY, A. To etch or not to etch, Part I: On the fatigue strength and dentin bonding performance of universal adhesives. **Dental Materials**, v. 37, n. 6, p. 949-960, 2021.
21. MACIEL, C. M.; SOUTO, T. C. V.; PINTO, B. A.; SILVA-CONCILIO, L. R.; BAROUDI, K.; VITTI, R. P. Adhesive systems applied to dentin substrate under electric current: systematic review. **Restorative Dentistry & Endodontics**, v. 46, n. 4, p. e55, 2021.

22. GUARDA, M. B.; PACHECO, R. R.; SILVA, I. D.; BRANDT, W. C.; SINHORETI, M. A. C.; VITTI, R. P. Microtensile bond strength of resin composite to dentin using different adhesive systems and directions of electric current. **Brazilian Dental Journal**, v. 33, n. 6, p. 86-93, 2022.
23. MITTERHOFER, W. J. S. **Efetividade de diferentes protocolos de cimentação na resistência da união de pinos de fibra de vidro no canal radicular**. 2017. Tese (Doutorado em Odontologia) – Universidade de Taubaté, Departamento de Odontologia, Taubaté, 2017.
24. PEREIRA, R. D.; VALDÍVIA, A. D.; BICALHO, A. A.; FRANCO, S. D.; TANTBIROJN, D.; VERSLUIS, A.; SOARES, C. J. Effect of photoactivation timing on the mechanical properties of resin cements and bond strength of fiberglass post to root dentin. **Operative Dentistry**, v. 40, n. 5, p. E206-E221, 2015.
25. KAWAZU, M.; TAKAMIZAWA, T.; HIROKANE, E.; TSUJIMOTO, A.; TAMURA, T.; BARKMEIER, W. W.; LATTA, M. A.; MIYAZAKI, M. Comparison of dentin bond durability of a universal adhesive and two etch-and-rinse adhesive systems. **Clinical Oral Investigations**, v. 24, n. 8, p. 2889-2897, 2020.
26. GIACHETTI, L.; SCAMINACI RUSSO, D.; BALDINI, M.; BERTINI, F.; STEIER, L.; FERRARI, M. Push out strength of translucent fiber posts cemented using a dual-curing technique or light-curing self-adhering material. **International Endodontic Journal**, v. 45, n. 3, p. 249-256, 2012.
27. CHEN, H.; FU, D.; YANG, H.; LIU, Y.; HUANG, Y.; HUANG, C. Optimization of direct currents to enhance dentine bonding of simplified one-step adhesive. **European Journal of Oral Sciences**, v. 122, n. 4, p. 286-292, 2014.
28. GALE, M. S.; DARVELL, B. W. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. **Journal of Dentistry**, v. 27, n. 2, p. 89-99, 1999.
29. PULIDO, C. A.; DE OLIVEIRA FRANCO, A. P.; GOMES, G. M.; BITTENCOURT, B. F.; KALINOWSKI, H. J.; GOMES, J. C.; GOMES, O. M. An in situ evaluation of the polymerization shrinkage, degree of conversion, and bond strength of resin cements used for luting fiber posts. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 116, n. 4, p. 570-576, 2016.