



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de São José dos Campos  
Instituto de Ciência e Tecnologia

**LOUISE DE AQUINO SILVA**

**EFEITO DO CONDICIONAMENTO ÁCIDO NA FORÇA DE UNIÃO DE  
RESINAS COMPOSTAS PARA ATTACHMENTS DE ALINHADORES AO  
ESMALTE DENTÁRIO**

**LOUISE DE AQUINO SILVA**

**EFEITO DO CONDICIONAMENTO ÁCIDO NA FORÇA DE UNIÃO DE RESINAS  
COMPOSTAS PARA ATTACHMENTS DE ALINHADORES AO ESMALTE DENTÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia,  
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte  
das exigências para a obtenção do grau de CIRURGIÃO-DENTISTA.

Orientador: Prof. Tit. Carlos Rocha Gomes Torres

Coorientador: Dra. Juliana Benace Fernandes

São José dos Campos

2025

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2025]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Silva, Louise Aquino

Efeito do condicionamento ácido na força de união de resinas compostas para attachments de alinhadores ao esmalte dentário / Louise Aquino Silva. - São José dos Campos : [s.n.], 2025.  
38 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado - odontologia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2025.

Orientador: Carlos Rocha Gomes Torres  
Coorientador: Juliana Benace Fernandes

1. Resistência ao cisalhamento. 2. Resinas compostas. 3. Condicionamento ácido do dente. 4. Esmalte dentário. 5. Estresse mecânico. I. Torres, Carlos Rocha Gomes, orient. II. Fernandes, Juliana Benace, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. V. Universidade Estadual Paulista (UNESP). VI. Título.

## **BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Tit. Carlos Rocha Gomes Torres (Orientador)**

Universidade Estadual Paulista (Unesp)  
Instituto de Ciência e Tecnologia  
Departamento de Odontologia Restauradora

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jessica Dias Santos**

Universidade Estadual Paulista (Unesp)  
Instituto de Ciência e Tecnologia  
Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Natália Cortez Gutierrez**

Universidade Estadual Paulista (Unesp)  
Instituto de Ciência e Tecnologia  
Departamento de Odontologia Restauradora

São José dos Campos, 24 de outubro de 2025.

## DEDICATÓRIA

*A minha família e amigos que me incentivaram durante essa jornada a persistir e não desistir dos meus sonhos, que sempre acreditaram na minha capacidade.*

## AGRADECIMENTOS

*À Deus por me dar forças nos momentos que pensei em desistir e me mostrar os caminhos com maior clareza.*

*Aos meus pais, Lucimara de Abreu Aquino e Gilson Antônio Silva. Por permitirem que eu vivesse o meu sonho, pelos ensinamentos de vida, pelos conselhos, e principalmente pelo amor que me deram até aqui.*

*Ao Prof. Carlos Rocha Gomes Torres. Gratidão por toda paciência, aprendizados e oportunidades durante esses anos de graduação, se propôs a me ajudar e guiou com excelência os caminhos desse trabalho. Tenho orgulho de tê-lo como meu orientador. Muito Obrigada.*

*Ao meu namorado e professor Osvaldo Daniel Andreatta Filho. Obrigada por encorajar meus passos, pelo apoio nos momentos difíceis e por me dar suporte e amor durante a reta final dessa fase tão importante em minha vida.*

*As minhas amigas de turma Bruna Oliveira e Raisia Sales. Obrigada por me tirarem as melhores risadas, pelos conselhos, por estarem ao meu lado durante todo o curso; com vocês a vida ficou mais leve e feliz.*

*À banca examinadora, Prof<sup>a</sup> Jessica e Prof<sup>a</sup>. Natália. Obrigada por contribuírem para o meu conhecimento técnico e acadêmico durante esses anos de graduação.*

*À equipe da Biblioteca pela ajuda na elaboração deste trabalho, contribuindo com o acesso ao material bibliográfico e na orientação das normas.*

*À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, pela experiência única, desafiadora e a mais especial de minha vida.*

*À Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica, dentro do Programa PIBIC/Reitoria de 2024/2025 - Projeto nº 16298.*

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos”*

*Provérbios 16:3*

## RESUMO

Silva LA. Efeito do condicionamento ácido na força de união de resinas compostas para *attachments* de alinhadores ao esmalte dentário. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2025.

**Objetivo:** Avaliar o efeito do condicionamento prévio do esmalte com ácido fosfórico na resistência de união de diferentes resinas compostas para *attachments* de alinhadores ortodônticos, em comparação com a técnica autocondicionante. **Material e Métodos:** Oitenta incisivos bovinos recém-extraídos foram preparados e embutidos em cilindros de canos de PVC usando resina acrílica. Esses espécimes foram divididos em quatro grupos (n=20), de acordo com a resina composta fluida a ser testada: AlignerFlow LC (Voco), GC Aligner Connect (GC), GrandioSO Heavy Flow (Voco) e Beautifil Flow Plus X (Shofu). Cada dente bovino recebeu ambos os protocolos adesivos: o Autocondicionante (AC) e o Condicionamento Ácido Prévio (CAP) seguido pela aplicação do mesmo adesivo autocondicionante (Futurabond U). Tubos de macarrão (1 mm de diâmetro interno, 2 mm de altura) foram usados como matrizes para a confecção de corpos de prova cilíndricos padronizados de resina fluida. Dois cilindros foram confeccionados em cada dente bovino (AC e CAP), totalizando 160 cilindros. Após 24 horas de armazenamento em água destilada a 37 °C, os espécimes foram submetidos ao ensaio de microcisalhamento (1 mm/min). Os dados (MPa) foram analisados por ANOVA bidirecional e teste post-hoc de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). O padrão de fratura foi avaliado em estereomicroscópio. **Resultados:** A ANOVA de dois fatores indicou que tanto o tipo de compósito ( $p=0,0001$ ) quanto o protocolo adesivo ( $p=0,0067$ ) exerceram efeito significativo sobre a resistência de união. A resina Beautifil Flow Plus X apresentou a maior resistência de união. O protocolo CAP resultou em aumento significativo da força de união apenas para a resina Beautifil Flow Plus X ( $17,16\pm 3,06$  MPa para AC e  $19,90\pm 2,49$  MPa para CAP). Para as demais resinas, o condicionamento ácido prévio não alterou significativamente a resistência adesiva. O padrão de fratura predominante em todos os grupos foi o adesivo. **Conclusão:** A resina composta Beautifil Flow Plus X demonstrou maior resistência de união ao esmalte. O pré-condicionamento com ácido fosfórico é uma estratégia que melhora significativamente a adesão da resina Beautifil Flow Plus X, mas não das outras resinas fluidas testadas.

**Palavras-chave:** resistência ao cisalhamento; condicionamento ácido do dente; esmalte dentário; estresse mecânico; resinas compostas; aparelhos ortodônticos removíveis

## ABSTRACT

Silva L. A. *Effect of acid etching on the bond strength of composite resins for aligner attachments to dental enamel.* São José dos Campos (SP), São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2025.

**Objective:** To evaluate the effect of phosphoric acid etching of the enamel on the bond strength of different composite resins used for orthodontic aligner attachments, compared to the self-etching technique. **Material and Methods:** Eighty freshly extracted bovine incisors were prepared and embedded in PVC pipe cylinders using acrylic resin. These specimens were divided into four groups ( $n=20$ ) according to the flowable composite resin tested: AlignerFlow LC (Voco), GC Aligner Connect (GC), GrandioSO Heavy Flow (Voco), and Beautifil Flow Plus X (Shofu). Each bovine tooth received both adhesive protocols in a modified split-mouth design: the Self-etching (AC) and the Prior Acid Etching (CAP), followed by the application of the same self-etching adhesive (Futurabond U). Pasta tubes (1 mm inner diameter, 2 mm height) were used as molds to create standardized cylindrical composite resin specimens. Two cylinders were made on each bovine tooth (one AC and one CAP), totaling 160 cylinders. After 24 hours of storage in distilled water at 37 °C, the specimens underwent the microshear bond strength test (1 mm/min). Data (MPa) were analyzed using two-way ANOVA and Tukey's post-hoc test ( $\alpha=0.05$ ). The failure mode was evaluated using a stereomicroscope. **Results:** The two-way ANOVA indicated that both the type of composite ( $p=0.0001$ ) and the adhesive protocol ( $p=0.0067$ ) had a significant effect on bond strength. The Beautifil Flow Plus X resin exhibited the highest bond strength. The CAP protocol resulted in a significant increase in bond strength only for the Beautifil Flow Plus X resin ( $17.16\pm 3.06$  MPa for AC and  $19.90\pm 2.49$  MPa for CAP). For the other resins, prior acid etching did not significantly alter the adhesive strength. The predominant failure mode in all groups was adhesive. **Conclusion:** The Beautifil Flow Plus X composite resin showed higher bond strength to enamel. Prior phosphoric acid etching is a strategy that significantly improves the adhesion of Beautifil Flow Plus X resin, but not of the other flowable resins tested.

**Keywords:** shear strength; acid etching, dental; dental bonding; dental enamel; composite resins; stress, mechanical.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>1.1 PROPOSIÇÃO</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>2.1 Aspectos éticos</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>2.2 Delineamento do Estudo</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>2.2.1 Variável de resposta</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>2.3 Delineamento amostral</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>2.4 Preparo dos espécimes</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>2.5 Divisão dos grupos experimentais</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>2.6 Procedimento restaurador (preparo da superfície de esmalte – tratamentos)</b> ..... | <b>18</b> |
| <b>2.7 Teste de resistência de união por microcisolamento</b> .....                        | <b>22</b> |
| <b>2.8 Análise do padrão de fratura</b> .....  | <b>24</b> |
| <b>2.9 Análise estatística</b> .....   | <b>26</b> |
| <b>3 RESULTADOS</b> .....  | <b>27</b> |
| <b>4 DISCUSSÃO</b> .....   | <b>32</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | <b>37</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a ortodontia vivenciou uma revolução impulsionada pelo desenvolvimento dos alinhadores ortodônticos transparentes. Esses dispositivos, que se consolidaram como uma alternativa estética e funcional aos aparelhos fixos convencionais, trouxeram vantagens significativas, como maior conforto, facilidade de remoção, maior controle de biofilme, e sobretudo uma estética discreta durante o uso. Confeccionados a partir de modelos digitais, por meio de impressoras 3D e placas termoplásticas de 1 mm de espessura. Introduzidos no mercado em 1999 pela empresa Align Technology, com a marca Invisalign®, eles têm sido utilizados com sucesso para corrigir uma vasta gama de más oclusões dentárias [1–5].

Para viabilizar a aplicação de forças mais direcionadas e eficazes, especialmente em movimentos complexos, são confeccionados *attachments*. Esses pequenos incrementos de resina composta, colados na superfície de esmalte, atuam em conjunto com a ancoragem da placa alinhadora, permitindo a aplicação contínua de forças que, transmitidas ao periodonto, promovem a movimentação dentária planejada [6,7]. Os *attachments* possuem formas geométricas e formatos pré-determinados, mas suas dimensões são individualizadas para cada paciente, garantindo maior previsibilidade e eficiência do tratamento [6–9].

A eficácia clínica dos *attachments* depende ainda diretamente de sua estabilidade mecânica ao longo do tratamento. Esses incrementos resinosos estão sujeitos às cargas contínuas exercidas pelos alinhadores, de modo que seu descolamento pode comprometer a progressão do tratamento, prolongar o tempo clínico e gerar desconforto ao paciente [5,10,11]. Essa estabilidade está intrinsecamente associada à resistência de união entre o material resinoso e o esmalte dentário, a qual é influenciada por fatores como a morfologia da superfície do esmalte, o tipo de resina composta utilizada, o método de condicionamento e o sistema adesivo empregado [5,11].

O esmalte dentário é o tecido mais mineralizado do corpo humano, constituído por cerca de 96% de cristais de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) organizados em prismas, além de pequena fração de água e proteínas [1,3]. Essa estrutura confere

alta dureza, mas também baixa porosidade, o que dificulta a difusão e infiltração dos monômeros adesivos. A camada superficial aprismática, altamente mineralizada e compacta, apresenta resistência ainda maior à penetração de adesivos autocondicionantes, cujo potencial de desmineralização é limitado pela baixa acidez. Nessas condições, a adesão direta ao esmalte sem condicionamento prévio tende a ser insuficiente, aumentando a probabilidade de falhas adesivas, descolamentos e pode levar ao comprometimento da longevidade clínica dos *attachments* [1,3,7,12].

Historicamente, o sucesso da adesão à estrutura dentária baseia-se em princípios fundamentais estabelecidos por Buonocore (1955), que demonstrou a importância da desmineralização do esmalte para potencializar a união, e por Nakabayashi et al. (1982), que consolidaram o conceito ao descrever a micro retenção obtida pela infiltração dos monômeros do sistema adesivo nos microporos criados pelo condicionamento ácido [3,12].

Esse mecanismo está relacionado a realização do ácido fosfórico, o qual remove de 10 a 30  $\mu\text{m}$  da superfície do esmalte, modificando a camada aprismática, criando microporosidades e, conseqüentemente, aumentando a energia superficial. É na penetração dos monômeros resinosos nessas irregularidades que se formam os *tags* resinosos, estabelecendo um embricamento micromecânico robusto. Este embricamento é o responsável por garantir a retenção adequada de acessórios ortodônticos, como *brackets*, botões e, mais recentemente, os acessórios (*attachments*) utilizados nos aparelhos removíveis [3,12,13].

Em contrapartida, os sistemas adesivos autocondicionantes foram desenvolvidos para simplificar o procedimento clínico, eliminando etapas como condicionamento, lavagem e secagem. Apesar das vantagens na redução do risco de contato com tecidos moles, a eficácia dos sistemas adesivos autocondicionantes (AC) no esmalte íntegro é questionável devido à dificuldade em penetrar a camada aprismática. Por essa razão, muitos fabricantes e clínicos recomendam o condicionamento ácido seletivo do esmalte como etapa complementar prévia à aplicação do AC [14].

Apesar dos avanços na tecnologia dos sistemas adesivos, persiste uma lacuna de conhecimento na literatura científica quanto ao real benefício da etapa de Condicionamento Ácido Prévio (CAP) do esmalte, especialmente no contexto da

adesão de acessórios ortodônticos em esmalte íntegro. Esta incerteza clínica reside na necessidade de validar se o CAP oferece uma melhora significativa na resistência de união, quando comparado ao uso exclusivo de sistemas adesivos autocondicionantes. A definição do protocolo adesivo, portanto, configura-se como um fator crucial a ser investigado para otimizar a estabilidade desses acessórios.

Paralelamente ao protocolo adesivo, a escolha da resina composta fluida constitui a segunda variável crítica para o sucesso do tratamento, pois sua composição química e propriedades físicas influenciam diretamente a resistência de união. Estudos indicam que tanto a viscosidade e adaptação superficial [11,15] quanto a composição química (como a presença de partículas bioativas ou o teor de carga inorgânica) podem interferir significativamente na interação com o esmalte e no desempenho frente aos esforços de cisalhamento [4,8,15,16] .

Portanto, a estabilidade clínica dos acessórios ortodônticos depende de uma adesão eficaz e duradoura, influenciada pela combinação do tipo de resina composta e da técnica adesiva empregada. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar, *in vitro*, o efeito do condicionamento ácido prévio na resistência de união de diferentes resinas compostas utilizadas para a confecção de acessórios, em associação com um sistema adesivo autocondicionante. Espera-se que esta investigação contribua para a definição de protocolos clínicos mais eficazes e seguros, promovendo a estabilidade desses acessórios e o sucesso dos tratamentos com alinhadores ortodônticos.

## 1.1 PROPOSIÇÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do condicionamento prévio do esmalte com ácido fosfórico na resistência de união de diferentes resinas compostas para attachments de alinhadores ortodônticos, em comparação com a técnica autocondicionante.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Aspectos éticos**

O presente estudo utilizou dentes bovinos. Por determinação da Lei nº 11.794 de 08/10/2008 – Lei “Arouca”, torna desnecessária a análise dessa etapa pelo CEP, já que o substrato é comercialmente viável e não apresenta uso de vertebrados.

### **2.2 Delineamento do Estudo**

Este foi um estudo experimental in vitro que utilizou como unidade experimental dentes bovinos.

Fatores em investigação:

Tipos de resinas compostas em 4 níveis:

- a) AlignerFlow LC (Voco);
- b) Aligner Connect (GC);
- c) GrandioSO Heavy Flow (Voco);
- d) Beautifil Flow Plus (Shofu)

Técnica adesiva em 2 níveis:

- a) Condicionamento ácido prévio (CAP) – aplicação de ácido fosfórico a 37% por 30s segundos, seguida de lavagem abundante e secagem ao ar.
- b) Autocondicionante (AC) – aplicação direta do sistema adesivo, sem prévio condicionamento ácido.

Cada grupo experimental foi subdividido de acordo com a técnica adesiva utilizada, resultando em oito combinações experimentais (n=10).

### **2.2.1 Variável de resposta**

Resistência adesiva (desfecho primário) – avaliada pelo método do microcisolamento em esmalte, com a força da união expressa em megapascals (MPa).

### **2.3 Delineamento amostral**

O cálculo amostral foi realizado considerando poder estatístico de 80% e nível de significância de 5%. Com base nos dados de média e desvio-padrão da resistência de união por microcisolamento (MPa) reportados em um estudo prévio (Najafi-Abrandabadi et al. (2014) foram necessários 20 espécimes por grupo. O cálculo foi realizado no software G Power (versão 3.1, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Alemanha).

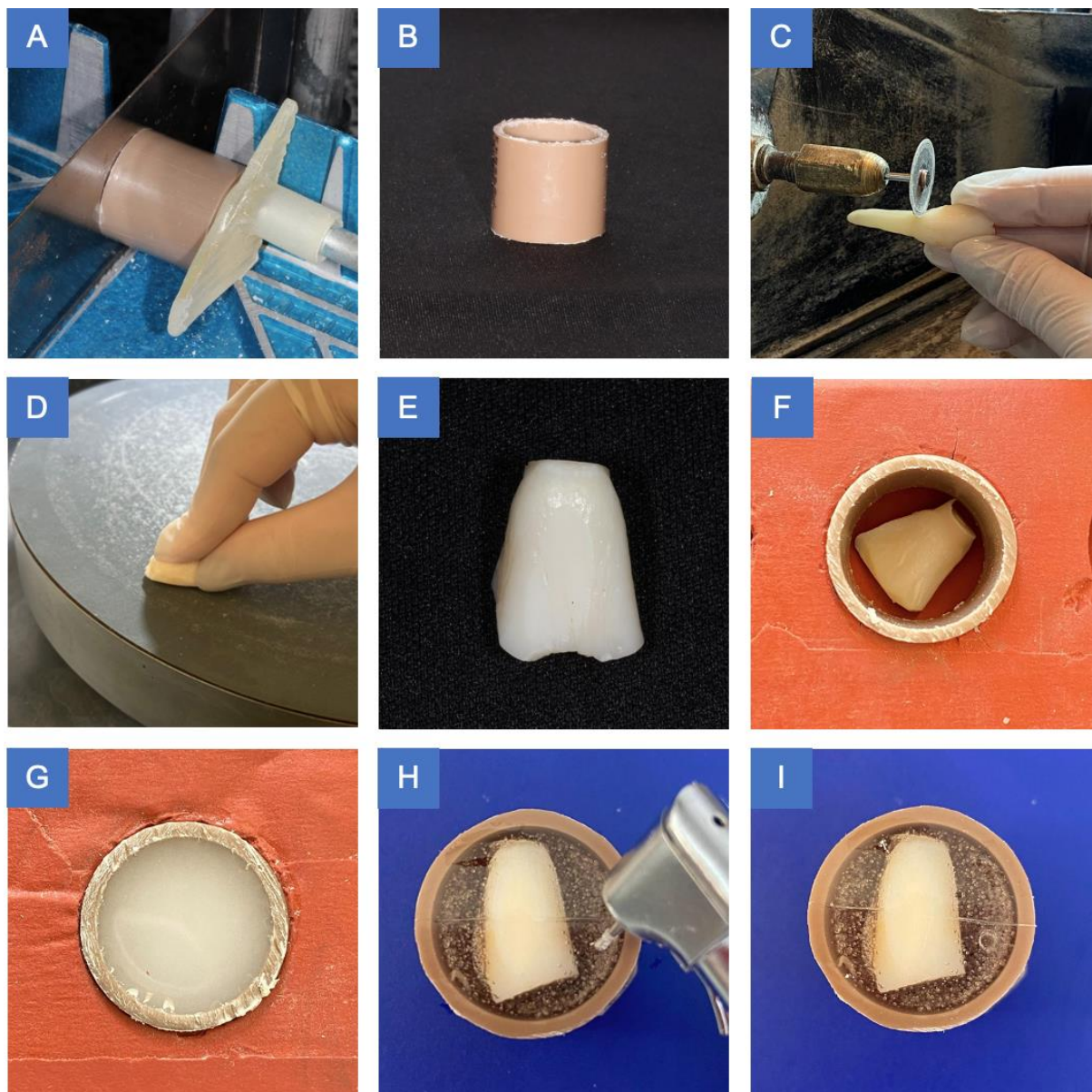
### **2.4 Preparo dos espécimes**

Para o preparo dos tubos de PVC, foram selecionados canos com 25mm de diâmetro e cortados em medidas de 20 mm de altura (Figura 1 A-B).

Foram utilizados oitenta incisivos bovinos recém-extraídos, de animais abatidos em frigorífico. Os dentes serão mantidos em solução de timol a 0,1%, com pH 7,0 até o momento do uso. As raízes foram separadas das coroas usando um disco diamantado, com um corte perpendicular ao longo eixo do dente na altura da junção cimento-esmalte e as coroas foram limpas com uma profilaxia usando uma escova de Robson, pedra-pomes e água (Figura 1 C). Após a profilaxia, a face

vestibular das coroas foi então lixada com lixa água P400-SiC acoplada a uma politriz manual por 30 segundos em uma velocidade de operação a 300 rpm e irrigação constante para a obtenção de uma superfície de esmalte plana para possibilitar seu posterior embutimento (Figura 1 D,E). Posteriormente, foram colocados dentro de cavidades em forma de cilindro de um molde de silicone juntamente com os tubos de PVC (Figura 1 F).

Os dentes foram embutidos individualmente nos cilindros de PVC obtidos anteriormente a partir do corte do cano. Uma matriz de silicone personalizada foi utilizada para facilitar o processo, em que os dentes foram posicionados individualmente dentro de cada poço, com a face vestibular planificada virada para baixo, com um cilindro de pvc também posicionado em cada poço. O espaço dentro do cilindro foi preenchido com resina acrílica autopolimerizável (Jet, Clássico, São Paulo, SP, Brasil), fixando o espécime (Figura 1 G). Após a polimerização da resina, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos a polimento automático (Tegramin 25, Struers, Dinamarca). Em seguida, realizou-se uma marcação na resina acrílica polimerizada que envolvia os dentes, utilizando ponta diamantada esférica acoplada a um contra-ângulo, a fim de identificar a porção da coroa a qual receberia o corpo de prova de resina aderido pela técnica usando condicionamento ácido prévio do esmalte, grupo CAP (Figura 1 H). Por fim, após os processos de polimento e marcações, os espécimes foram finalizados e prontos para os tratamentos de superfície e colagem (Figura 1 I).



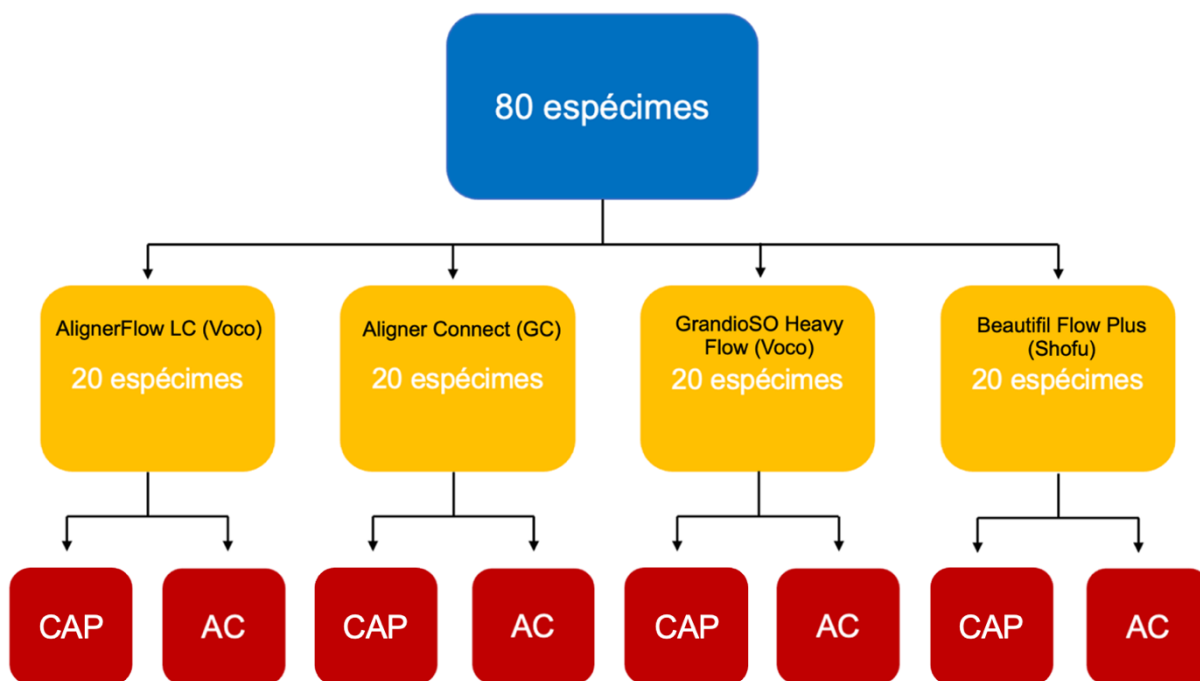
**Figura 1** – Confeção dos espécimes

Legenda: a) secção do tubo de PVC; b) tubo de PVC cortado nas dimensões corretas; c) secção entre a raiz e a coroa do dente bovino usando um disco de corte diamantado; d) aplainamento e polimento da superfície vestibular da coroa na poletriz Struers Tegramin-25; e) dente após aplainamento as superfície vestibular; f) dente posicionado dentro do tubo de PVC antes da inclusão em resina acrílica; g) preenchimento do tubo com resina acrílica; h) espécime após polimerização da resina, polimento e marcação do lado da porção incisal, a qual corresponde ao grupo condicionamento ácido prévio (CAP); i) espécime finalizado.

Fonte: elaborada pela autora

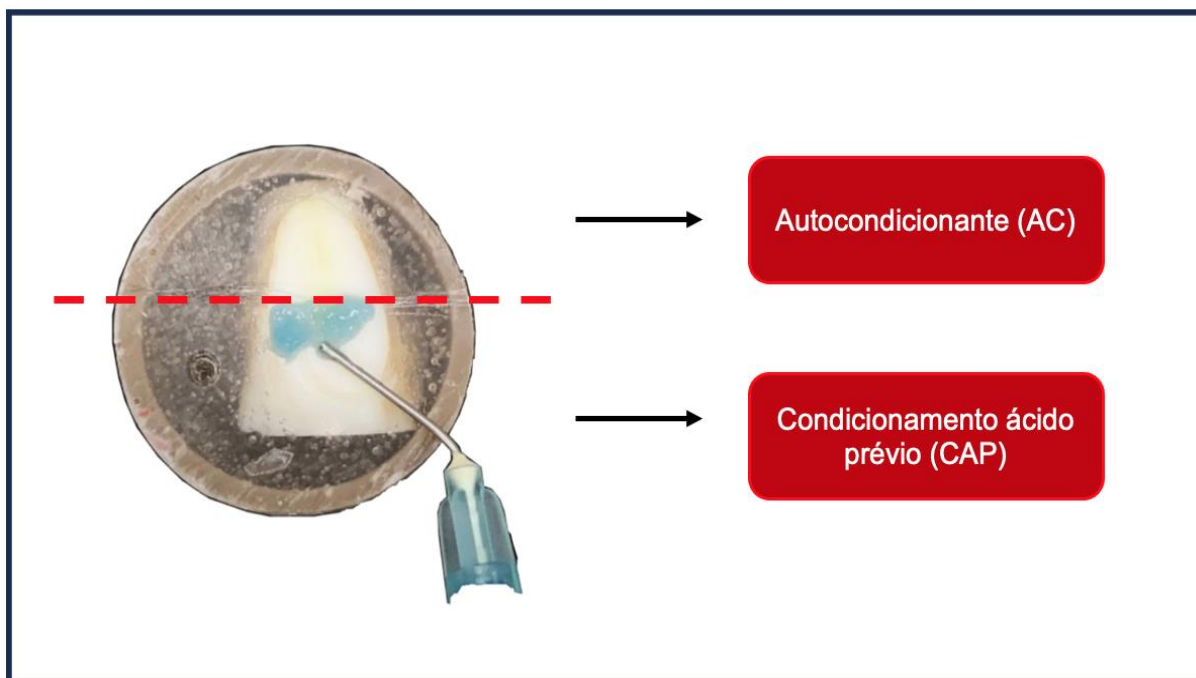
## 2.5 Divisão dos grupos experimentais

A alocação dos espécimes nos grupos experimentais foi realizada de forma aleatória. No total, foram utilizados 80 dentes bovinos, distribuídos em quatro grupos de acordo com a resina composta avaliada (n=20 por grupo). Em cada espécime foram confeccionados dois cilindros de resina, um aderido pelo protocolo de condicionamento ácido prévio do esmalte (CAP) e o outro apenas com a aplicação do adesivo autocondicionante, sem condicionamento ácido. Dessa forma, para cada resina testada, obtiveram-se 20 cilindros (N=20) aderidos por cada técnica adesiva (AC e CAP).



**Figura 2** – Divisão e subdivisão dos grupos

Fonte: elaborada pela autora



**Figura 3** – Divisão do espécime de acordo com o tratamento de superfície

Fonte: elaborada pela autora

## 2.6 Procedimento restaurador (preparo da superfície de esmalte – tratamentos)

Dois protocolos adesivos foram avaliados neste estudo: condicionamento ácido prévio do esmalte (CAP) e autocondicionante (AC), aplicados em associação aos diferentes materiais restauradores.

Cada espécime foi dividido em duas metades: em uma metade do esmalte foi aplicado o protocolo de condicionamento ácido prévio (CAP), e na outra metade o protocolo autocondicionante (AC). Dessa forma, cada dente recebeu ambos os protocolos adesivos, permitindo a comparação direta entre eles no mesmo espécime.

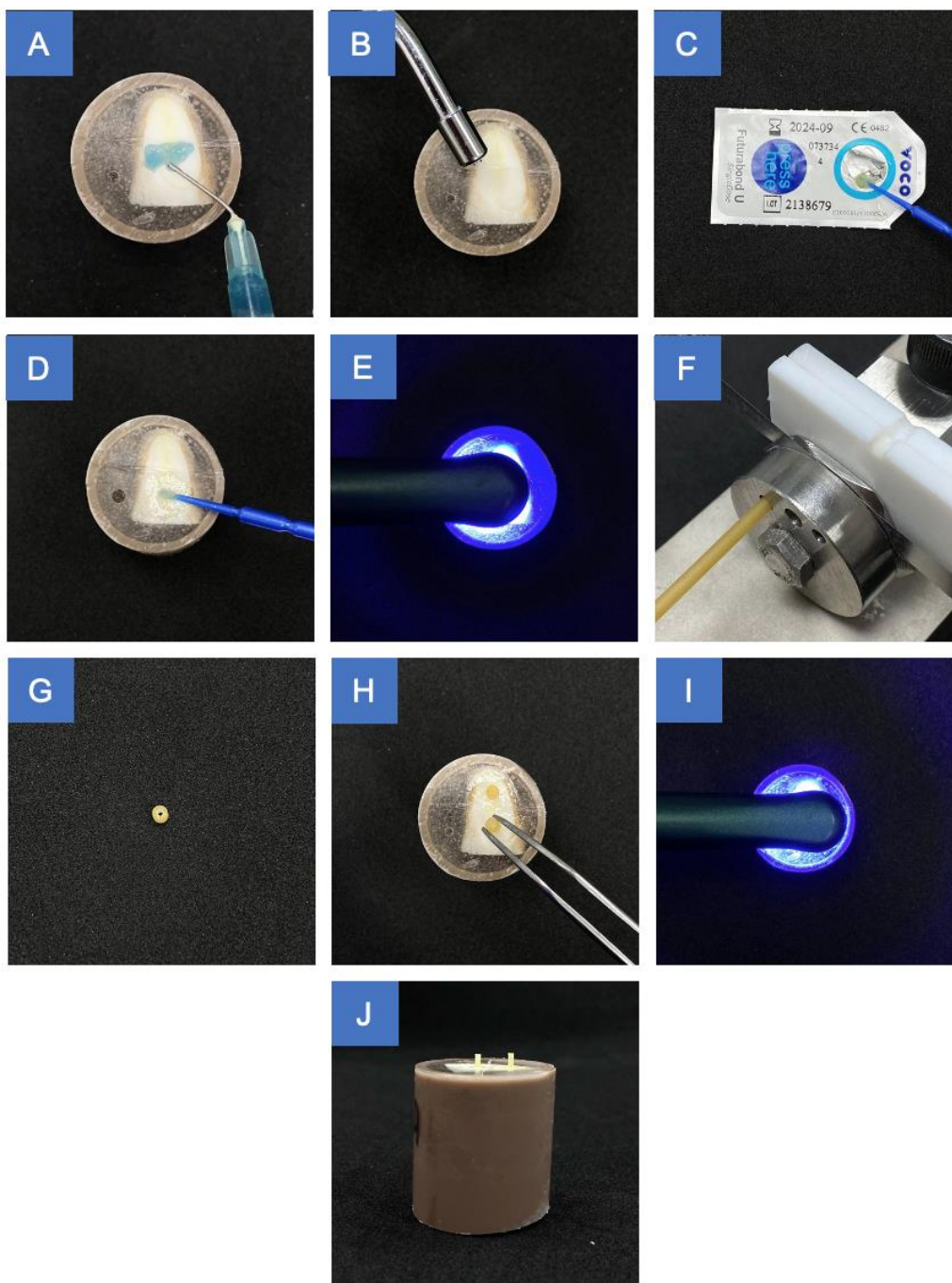
No protocolo de condicionamento ácido prévio do esmalte (CAP), a superfície do esmalte foi condicionada com ácido fosfórico a 37% por 15 segundos, seguido de lavagem com água por 15 segundos e secagem leve por 15 segundos (Figura 4 A-B). Em seguida, aplicou-se o adesivo Futurabond U (VOCO, Cuxhaven, Germany), friccionando-o por 20 segundos, conforme as instruções do fabricante. O excesso de

solvente foi removido com um jato de ar leve por 5 segundos, seguido de fotopolimerização por 10 segundos com o aparelho Valo Cordless (Ultradent, Salt Lake City, Utah, USA), luz LED (800 mW/cm<sup>2</sup>) (Figura 4 C-E).

No protocolo autocondicionante (AC), não foi realizado condicionamento ácido prévio. O mesmo adesivo em dose única (Futurabond U, VOCO) foi aplicado diretamente sobre a superfície do esmalte, sem tempo de espera, seguido de leve jato de ar por 5 segundos e fotopolimerização por 10 segundos, com o mesmo equipamento (Figura 4 E).

Para a confecção dos corpos de prova, tubos de macarrão perfurados com 1 mm de diâmetro interno foram seccionados em segmentos de 2 mm de comprimento e utilizados como matrizes para padronização dos cilindros de resina composta fluida. Esses tubos foram posicionados sobre a superfície vestibular planificada e polida dos dentes bovinos, já tratada com cada técnica adesiva correspondente. Assim, em cada metade do dente, foram confeccionados cilindros aderidos ao protocolo específico (CAP em uma metade e AC na outra). O compósito de cada grupo foi inserido nas matrizes cilíndricas e fotopolimerizado por 20 segundos com o mesmo aparelho de luz LED (Figura 4 F-I).

Após a polimerização, os espécimes foram armazenados em água ultrapura a 37 °C por 24 horas, até o amolecimento dos tubos de macarrão, restando apenas os cilindros das resinas para o ensaio de microcisalhamento (Figura 4 J).



**Figura 4** – Aplicação do ácido, sistema adesivo e fotopolimerização.

Legenda: a) condicionamento ácido prévio do esmalte no lado designado para este protocolo; b) lavagem do ácido e secagem do esmalte; c) manipulação do adesivo em dose única Futurabond U (VOCO, Cuxhaven, Germany); d) aplicação do adesivo com microbrush; e) fotopolimerização do adesivo com Valo Cordless (Ultradent, Salt Lake City, Utah, USA), luz LED (800 mW/cm<sup>2</sup>); f) corte do macarrão perfurado n°5 com serra; g) tubo de macarrão cortado e pronto para ser unido a superfície de esmalte; h) pinça posicionando o tubo de macarrão para a confecção dos cilindros a serem usados no teste de microcisalhamento; i) fotopolimerização; j) cilindros de resina confeccionados, após imersão em água pura tipo II, por 24 horas e dissolução do tubo no meio aquoso.

Fonte: elaborada pela autora

Na Tabela I podem ser observadas as composições dos materiais testados.

**Tabela I** – Materiais utilizadas no estudo com seus respectivos grupos, material, características, composição, fabricante e lote.

| Grupo | Material                      | Característica                       | Composição  | Fabricante                                     |
|-------|-------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| AFPLC | Aligner Flow LC (Voco)        | Nano-hybrid viscosity: flow          | Barium aluminium borosilicate glass, silicon dioxide, HEDMA, BisGMA, TEGDMA, BisEMA, fumed silica, initiators, stabilisers, pigments<br>83% de carga por peso   | VOCO GmbH.<br>Cuxhaven,<br>Alemanha            |
| GCAC  | Aligner Connect (GC)          | Nano-hybrid viscosity: flow          | (octahidro-4,7-metano-1H-indenediil)bis(metileno) bismetacrilato 1,3,5-triazano-2,4,6-triamina, polímero com formaldeído Dimetacrilato de 2,2'-etilenodioxidietilo, 2-(2H-benzotriazol-2-il)-p-cresol Bismetacrilato de 7,7,9(ou 7,9,9)-trimetil-4,13-dioxo-3,14-dioxa-5,12-diazahexadecano-1,16-diilo.<br>Alto teor de carga (porcentagem exata não disponibilizada pelo fabricante).<br>83% de carga por peso | GC Corporation.<br>Tóquio-Japão.               |
| GHF   | GrandioSO Heavy Flow (Voco)   | Não disponibilizado pelo fabricante. | 83% de carga por peso   | VOCO GmbH.<br>Cuxhaven,<br>Alemanha            |
| BFP   | Beautifil Flow Plus X (Shofu) | Nano-hybrid viscosity: flow          | Partícula S-PRG.<br><br>60% de carga por peso   | SHOFU DENTAL CORPORATION<br>Quioto, Quioto-fu. |
|       | Potenza Attacco 35% (PHS)     | Ácido fosfórico 35%                  | Ácido Fosfórico a 35%, Corante, Espessantes e Água Deionizada,  | PHS<br>Joinville, Santa Catarina, Brasil       |
|       | Futurabond Universal (Voco)   | Autoconcionante; Dual.               | Etanol, BisGMA, HEMA, água, HEDMA, éster de ácido fosfórico de metacrilato, ácido polialcenoico modificado por metacrilato, UDMA, iniciadores, estabilizantes.  | VOCO GmbH.<br>Cuxhaven,<br>Alemanha            |

Fonte: elaborada pela autora

## 2.7 Teste de resistência de união por microcissalhamento

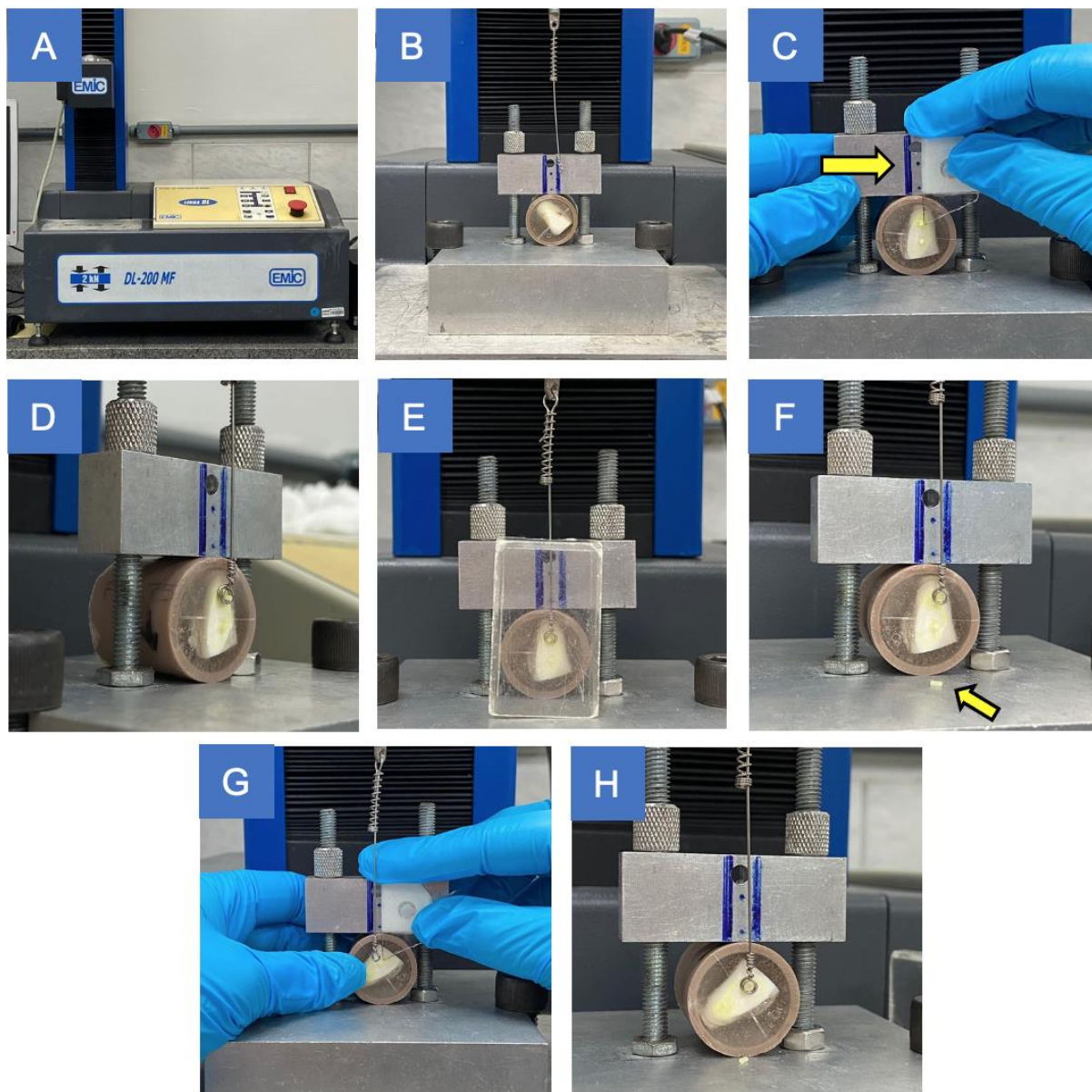
Após a remoção dos segmentos de macarrão nº 5 utilizados como matriz para a confecção dos cilindros de resina, o diâmetro de cada cilindro foi verificado com auxílio de um paquímetro.

Os espécimes foram então submetidos ao ensaio de resistência de união por microcissalhamento. O teste foi realizado em máquina de ensaios universal (DL200MF, Emic, São José dos Pinhais, PR, Brasil), equipada com célula de carga de 10 kg, a uma velocidade de 1 mm/min, conforme a norma ISO/TS 11405:2003 (Figura 5 A, B).

A carga foi aplicada com uma alça confeccionada a partir de fio ortodôntico fino, posicionada ao redor da base do cilindro de resina, em contato com a interface adesiva. Os cilindros de resina foram posicionados de forma que ficassem alinhados verticalmente no mesmo eixo vertical dos pontos em azul. Esse posicionamento foi obtido com o auxílio de um dispositivo de posicionamento padronizado, indicado pela seta amarela, confeccionado para encostar na superfície do espécime e se apoiar na peça de fixação da base, garantindo o correto paralelismo entre cilindros e pontos de referência. Assim, assegurou-se que os cilindros permanecessem na mesma reta do eixo vertical e assegurando a reprodutibilidade do ensaio. (Figura 5 C, D).

O teste de microcissalhamento, iniciou-se pelo lado AC, que neste caso estava localizado na parte superior. A alça, confeccionada com fio ortodôntico fino, foi posicionada envolvendo o cilindro, em contato com sua porção mais inferior, sem exercer pressão prévia sobre ele (Figura 5 E). Para evitar a perda do cilindro após a fratura, foi confeccionada uma peça de proteção, posicionada ao redor do conjunto no momento do ensaio. Pode-se observar o cilindro que escapou no momento da fratura, indicado pela seta amarela. (Figura 5 F).

O mesmo procedimento se repete para o subgrupo CAP (Figuras 5 G, H). A resistência de união foi calculada considerando a força máxima até a ruptura em Newtons e a área de união em mm<sup>2</sup>.



**Figura 5** – Fratura do cilindro de resina

Legenda: a) máquina universal de ensaios (DL200MF, Emic, São José dos Pinhais, PR, Brasil); b) base metálica para estabilização dos espécimes, c) parafusos rosqueados e espécime posicionado; d) alinhador confeccionado indicado pela seta amarela; e) posição ideal com os cilindros de resina e pontos azuis na mesma reta do eixo vertical; f) lado AC iniciando teste de microcisalhamento; g) peça protetora confeccionada para garantir que o cilindro não se perca ao frature; h) força metálica deslocada após fratura do cilindro indicada pela letra A; i) alinhando o eixo do cilindro de resina do lado CA com os pontos azuis verticais; j) força circundada ao cilindro e pronta para começar o teste; k) protetor já posicionado; l) espécime após fratura do cilindro de resina.

Fonte: elaborada pela autora

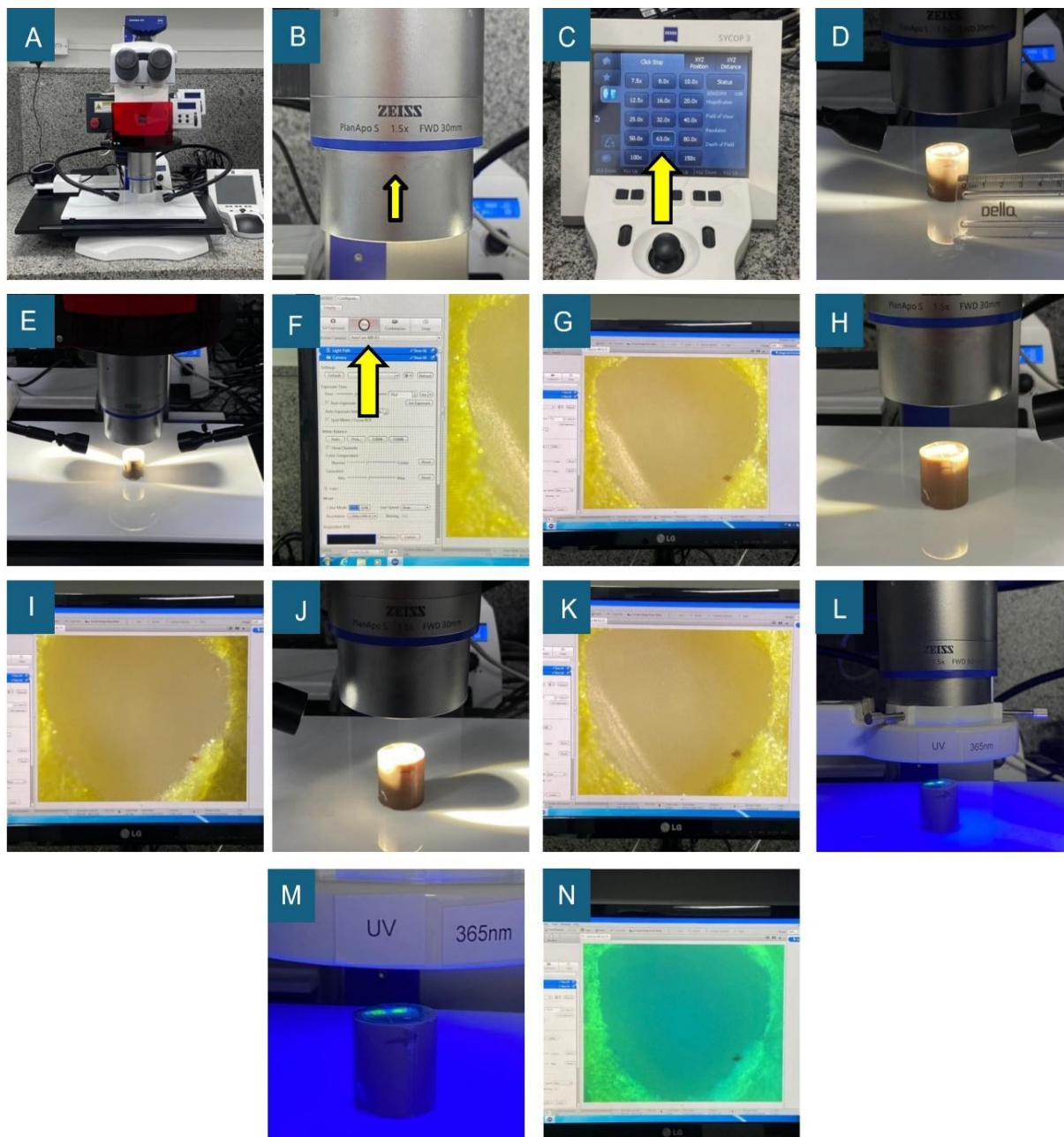
## 2.8 Análise do padrão de fratura

Os padrões de fratura foram analisados em um estereomicroscópio (Discovery V20, Karl Zeiss) com aumento de 63x (Figura 4 A-C). O espécime recebeu luzes de ambos os lados e estava posicionado há 3 cm de cada luz (Figura 4 D). Três fotos foram obtidas sob luz branca: a primeira com iluminação bilateral, a segunda com luz direcionada apenas pelo lado direito e a terceira com luz somente pelo lado esquerdo (Figura 4 E-K).

Em seguida, para detectar resíduos de compósito, uma nova imagem foi capturada sob luz UV (395 nm). Para verificar fraturas no esmalte, anteriormente aplicou-se tinta fluorescente na área de fratura (Figura 4 L-N).

Os padrões de fratura foram classificados em:

- **Adesiva** – Quando a falha ocorre na interface adesivo-esmalte ou na interface adesivo-resina composta, em mais de 75% da área analisada;
- **Coesiva em resina** – Quando a falha ocorrer predominantemente no interior da resina composta, com mais de 75% da área de adesão recoberta pelo material restaurador;
- **Coesiva em esmalte** – Quando a falha ocorrer predominantemente no interior da dentina, com mais de 75% da área de adesão recoberta por remanescente dental;



**Figura 6** – Visualização do padrão de fratura no Estereomicroscópio óptico Discovery V20 – Zeiss

Legenda: a) Estereomicroscópio Discovery V20 – Zeiss; b) lente ocular 1,5x Zeiss; c) tela da configuração do zoom utilizado para análise da fratura (63 x) (seta amarela); d) espécime posicionado aproximadamente com uma distância de 3 cm entre as duas luzes; e) posicionamento do espécime entre duas luzes; f) aba “SNAP” indicada pela seta amarela; g) *printscream* da área fraturada iluminada pelas duas luzes; h) posicionamento do espécime sendo iluminado apenas pela luz direita; i) *printscream* da área fraturada iluminada pela luz direita; j) posicionamento do espécime sendo iluminado apenas pela luz esquerda; k) *printscream* da área fraturada iluminada pela luz esquerda; l) espécime submetido por iluminação UV 365nm, m) área de fratura submetida a tinta fluorescente; n) *printscream* da área fraturada iluminada por luz UV 365nm.

Fonte: elaborada pela autora

## 2.9 Análise estatística

A análise estatística incluiu métodos descritivos e inferenciais. Para a estatística descritiva, foram calculadas a média e o desvio-padrão de cada grupo.

A análise inferencial foi conduzida após a verificação da normalidade dos dados (teste de Kolmogorov-Smirnov) e da homocedasticidade (teste de Levene). Para investigar o efeito das variáveis independentes nos resultados, foi utilizada a ANOVA de dois fatores, seguida pelo teste *post-hoc* de Tukey para identificar as diferenças significativas entre os grupos. O nível de significância adotado para todas as análises foi de 5% ( $p < 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS

A análise de variância (ANOVA) de dois fatores revelou um efeito estatisticamente significativo ( $p < 0,05$ ) tanto para o tipo de compósito quanto para a técnica adesiva. A interação entre esses dois fatores também foi significativa. Os detalhes completos da análise, incluindo valores de  $p$  e médias, estão apresentados na Tabela II.

**Tabela II** – Resultados da ANOVA a dois fatores.

| FATORES  | SS     | DF | MS     | F     | p       |
|--|--------|----|--------|-------|---------|
| Compósito                                      | 549,14 | 3  | 183,05 | 34,54 | 0,0001* |
| Condicionamento ácido<br>prévio                | 39,97  | 1  | 39,97  | 7,54  | 0,0067* |
| Compósito x<br>Condicionamento ácido<br>prévio | 41,2   | 3  | 13,73  | 2,59  | 0,0548  |

Fonte: elaborada pela autora

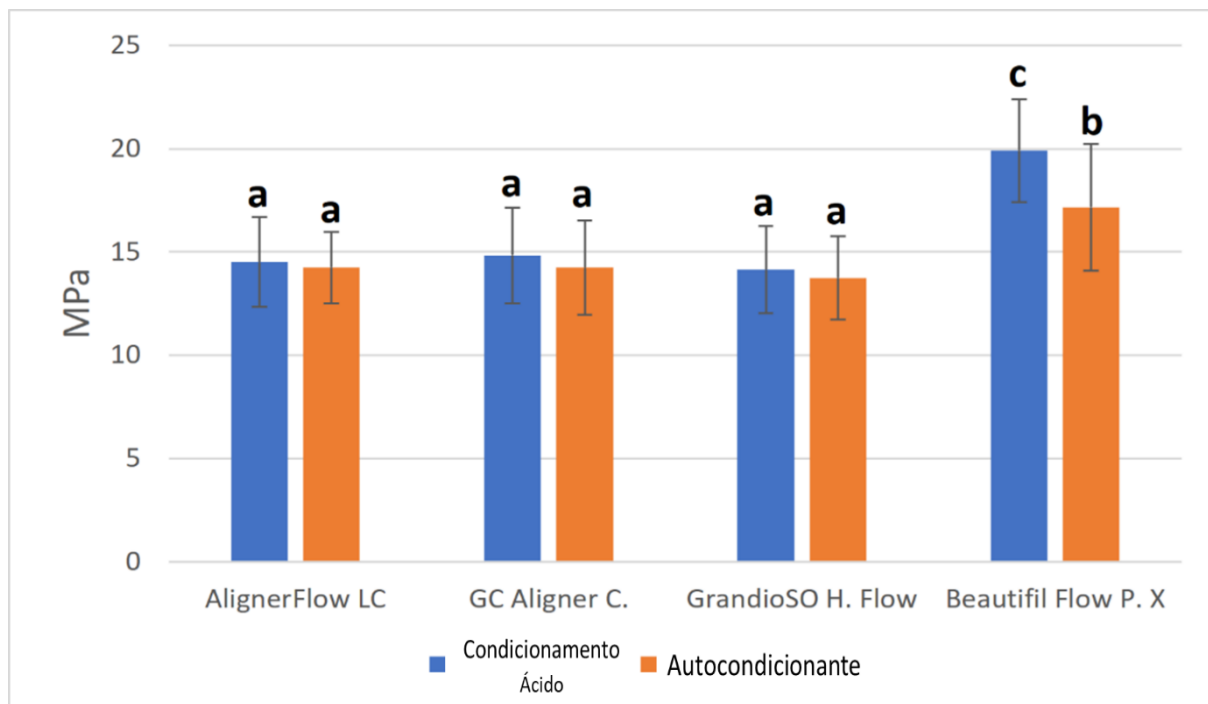
As médias da força de união para todos os grupos experimentais, bem como seus respectivos desvios-padrão, estão sumarizadas na Tabela III. Essa mesma tabela detalha os resultados do teste *post-hoc* de Tukey, que identifica quais pares de grupos apresentaram diferenças estatisticamente significativas na força de união.

**Tabela III** – Meios e desvio padrão da força de união para cada grupo/subgrupo.

| RESINAS               | TÉCNICA ADESIVA              | MÉDIA (MPA) | DP   | CONJUNTOS HOMOGÊNEOS |   |   |
|-----------------------|------------------------------|-------------|------|----------------------|---|---|
| GrandioSO Heavy Flow  | Autocondicionante            | 13,74       | 2,01 | a                    |   |   |
| GrandioSO Heavy Flow  | Condicionamento ácido prévio | 14,13       | 2,10 | a                    |   |   |
| GC Aligner Connect    | Autocondicionante            | 14,24       | 2,27 | a                    |   |   |
| GC Aligner Connect    | Condicionamento ácido prévio | 14,84       | 2,31 | a                    |   |   |
| AlignerFlow LC        | Autocondicionante            | 14,25       | 1,73 | a                    |   |   |
| AlignerFlow LC        | Condicionamento ácido prévio | 14,51       | 2,17 | a                    |   |   |
| Beautifil Flow Plus X | Autocondicionante            | 17,16       | 3,06 |                      | b |   |
| Beautifil Flow Plus X | Condicionamento ácido prévio | 19,90       | 2,49 |                      |   | c |

Fonte: elaborada pela autora

As médias de resistência de união para todas as resinas testadas estão ilustradas na Figura 7, permitindo uma comparação visual entre os grupos experimentais.

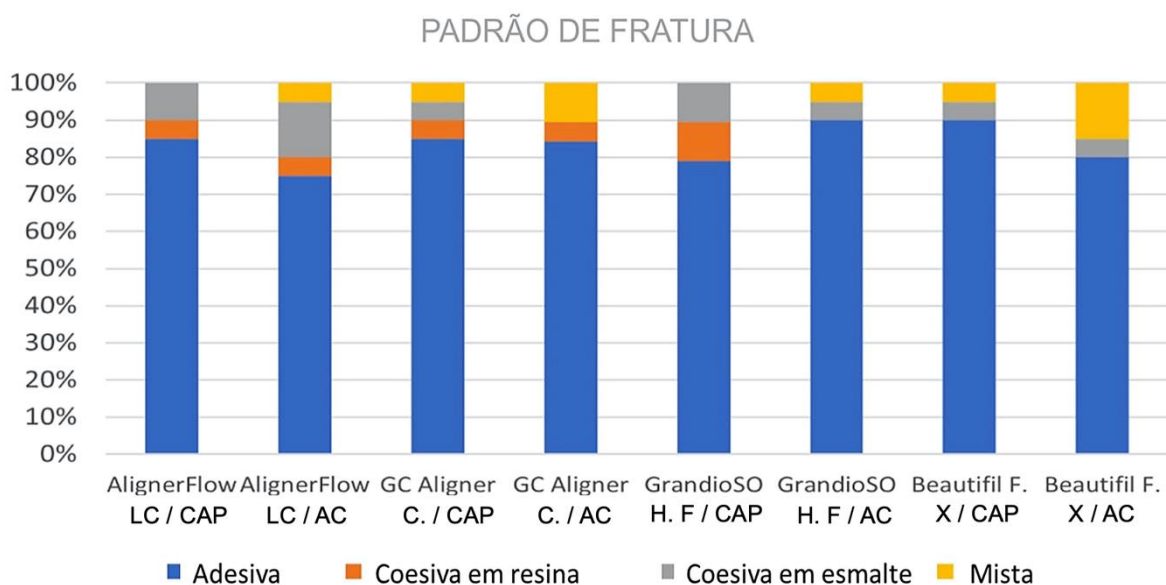


**Figura 7** — Valores médios ( $\pm$  DP) de resistência de união (MPa) para todos os grupos e subgrupos.

Legenda: As colunas azuis representam os subgrupos que receberam o condicionamento ácido total, e as colunas laranjas representam os subgrupos que receberam apenas o adesivo autocondicionante.  
Fonte: elaborada pela autora

A resina Beautifil Flow Plus X apresentou a maior resistência de união entre os materiais testados, exigindo uma força de microcisalhamento superior para a fratura. Essa resina foi a única a mostrar uma diferença estatisticamente significativa na resistência, sendo o seu desempenho ainda superior quando o condicionamento ácido prévio do esmalte foi realizado, em comparação com a técnica adesiva autocondicionante.

A Figura 8 ilustra a distribuição de falhas, que foi majoritariamente adesiva em todos os grupos.



**Figura 8** – Distribuição do padrão de fratura para grupos/subgrupos

Legenda: As siglas CAP e AC correspondem ao condicionamento ácido prévio e ao sistema autocondicionante, respectivamente, para divisão dos dois subgrupos nos espécimes de cada resina testada. A cor azul representa fratura na camada adesiva, a cor laranja representa fratura coesiva em resina, a cor cinza representa fratura coesiva em esmalte e amarela representa fratura de padrão misto.

Fonte: elaborada pela autora

A maioria dos grupos e subgrupos apresentou padrão de falha majoritariamente adesiva nos testes de fratura, variando entre 75% e 90% do total (aparecendo em azul na representação gráfica da figura 8).

As fraturas coesivas em resina (laranja) e mistas (amarelo) foram observadas em menor proporção (Figura 8). Já as falhas coesivas em esmalte (cinza) foram raras na maioria dos grupos, mas corresponderam a cerca de 10% dos casos nos grupos GrandioSO e AlignerFlow LC com condicionamento prévio do esmalte (CPE) e AlignerFlow LC associada a técnica autocondicionante, sendo este último o que apresentou a maior porcentagem desse tipo de fratura. A resina Beautifil Flow Plus X

não apresentou falhas coesivas em resina em nenhum dos subgrupos (associada a nenhuma das técnicas adesivas).

Já em relação ao padrão de fratura mista, os grupos das resinas Beautifil Flow Plus X e GC Aligner Connect, quando associados à técnica adesiva autocondicionante, apresentaram porcentagens semelhantes entre si. No entanto, ambos diferiram dos respectivos grupos em que os mesmos materiais foram utilizados com condicionamento ácido prévio.

## 4 DISCUSSÃO

Este estudo avaliou a resistência de união ao esmalte dentário de quatro resinas compostas: GrandioSO Heavy Flow, GC Aligner Connect, AlignerFlow LC e Beautifil Flow Plus X. Cada material foi testado em associação com duas técnicas adesivas: a aplicação exclusiva do sistema autocondicionante ou o uso do condicionamento ácido prévio do esmalte com ácido fosfórico a 37%, seguido da aplicação do adesivo autocondicionante. Dessa forma, cada grupo de resina foi subdividido em dois subgrupos, possibilitando a análise comparativa do desempenho adesivo em diferentes protocolos. Os ensaios de microcisalhamento permitiram avaliar, portanto, tanto a influência do tipo de resina quanto o efeito da realização do condicionamento ácido prévio do esmalte sobre a resistência de união.

Os adesivos autocondicionantes ganharam popularidade na prática clínica pela simplicidade de aplicação e pela menor agressividade sobre a dentina. Esse tecido, por ser menos mineralizado e rico em matriz orgânica, pode sofrer desmineralização excessiva quando exposto a ácidos fortes, o que prejudica a infiltração do adesivo e a estabilidade da união do substrato com o material restaurador, sendo a ação mais branda dos primers autocondicionantes vantajosa em dentina [1,14,17].

No esmalte, entretanto, a literatura mostra que a acidez relativamente baixa desses sistemas pode não ser suficiente para promover condicionamento adequado em todas as situações. Por ser um tecido altamente mineralizado, o esmalte costuma responder melhor ao condicionamento ácido convencional, que gera microporosidades nesse tecido, favorecendo o imbricamento mecânico. Dessa forma, o condicionamento ácido seletivo do esmalte é frequentemente apontado como estratégia para otimizar a adesão nesse substrato [1,3,13,18].

No presente estudo, contudo, não foi observada diferença estatística entre as técnicas em três das quatro resinas testadas, sugerindo que, dependendo da formulação do compósito ou da interação química estabelecida com o esmalte, os sistemas autocondicionantes podem apresentar desempenho comparável ao condicionamento ácido seletivo. Esse resultado indica que a efetividade da técnica

adesiva em esmalte pode estar também relacionada às características do material restaurador, não estando apenas associado ao protocolo adesivo utilizado.

Entre os materiais avaliados, a resina Beautifil Flow Plus X apresentou os maiores valores de resistência de união ao esmalte, sendo estatisticamente superior às demais resinas testadas. Além disso, foi a única que demonstrou diferença significativa entre os protocolos adesivos, com desempenho superior quando associado ao condicionamento ácido prévio em comparação à técnica autocondicionante. Esse resultado pode estar relacionado à composição diferenciada do sistema Giomer, que combina matriz resinosa convencional (Bis-GMA, TEGDMA) a partículas de vidro de ionômero modificadas por resina (S-PRG fillers). Esses reforços inorgânicos liberam íons fluoreto, cálcio e estrôncio, promovendo potencial remineralizante e interação química adicional com os tecidos dentários. Outro aspecto relevante é sua viscosidade equilibrada, que pode ter contribuído para uma melhor penetração nos microporos formados pelo condicionamento ácido, otimizando a retenção micromecânica e resultando em valores de resistência de união mais elevados. Estudos prévios corroboram essa interpretação, relatando que materiais baseados no sistema Giomer apresentam desempenho adesivo superior em relação às resinas convencionais, que dependem exclusivamente de retenção micromecânica [17]. Além disso, sua carga inorgânica é otimizada para manter boa resistência mecânica sem comprometer a fluidez. Essa composição híbrida justifica a maior resistência de união observada, pois une a retenção micromecânica aos efeitos bioativos das partículas funcionais [17,19,20].

A resina GrandioSO Heavy Flow possui uma matriz resinosa baseada em Bis-GMA e UDMA, associada a um elevado teor de partículas inorgânicas (> 80% em peso). Embora essa alta carga de vidro bário e sílica nanométrica contribua significativamente para sua resistência ao desgaste e estabilidade dimensional, essa também é responsável pela maior viscosidade relativa do material [8,20,21].

Em nosso estudo, essa resina apresentou desempenho inferior em termos de resistência de união quando comparada à Beautifil Flow Plus X. Tal resultado pode ser atribuído à sua elevada viscosidade. Estudos demonstram que compósitos com maior viscosidade apresentam menor capacidade de molhamento e infiltração adequada nos microporos criados no esmalte condicionado, o que compromete a formação do embricamento micromecânico e, conseqüentemente, a resistência

adesiva [20]. Assim, apesar das vantagens mecânicas da GrandioSO Heavy Flow, sua indicação clínica se mostra mais apropriada para áreas submetidas a estresse mastigatório, como restaurações oclusais, do que para situações onde a eficácia da adesão ao esmalte íntegro é o fator crítico para a retenção, como é o caso dos acessórios ortodônticos [8,16].

As resinas GC Aligner Connect e AlignerFlow LC são formuladas especificamente para a confecção de attachments para alinhadores ortodônticos. A primeira, com monômeros funcionais de baixa viscosidade (UDMA e TEGDMA) e menor teor de carga [4,15,20], e a segunda, com uma matriz baseada em Bis-EMA e carga intermediária para equilíbrio mecânico e óptico [4,15,22].

Contrariando a expectativa de desempenho superior para produtos especializados, ambas as resinas GC Aligner Connect e AlignerFlow LC apresentaram resistência de união estatisticamente semelhante ao compósito universal GrandioSO Heavy Flow. Este achado sugere que, nas condições deste estudo, o benefício de ter uma formulação otimizada para fluidez e adaptação (menor viscosidade) pode ter sido compensado pela menor concentração de carga inorgânica. O menor teor de carga pode limitar a resistência mecânica intrínseca [4, 15, 20], resultando em uma resistência de união comparável à da GrandioSO Heavy Flow, cuja alta viscosidade (fator limitante) é equilibrada pela robustez da sua composição. De forma geral, a literatura aponta que tanto a composição (como tipo de monômero e teor de carga) quanto propriedades reológicas, além do protocolo adesivo adotado (incluindo viscosidade, potencial de desmineralização e uso ou não de condicionamento seletivo), exercem influência relevante na resistência de união ao esmalte e na previsão do tratamento com os attachments, consequentemente [4,5,9,11,15,18,20].

A análise dos padrões de fratura complementa os resultados de resistência, revelando que a interface resina–esmalte foi o ponto crítico da união na maioria dos casos, dada a predominância de falhas adesivas em todos os grupos (75% a 90%). A baixa frequência de fraturas coesivas em esmalte (até 10%) indica que a integridade da estrutura dentária foi preservada. Um achado notável é que a resina *Beautifil Flow Plus X*, além de apresentar a maior resistência em MPa, não registrou fraturas coesivas em resina em nenhum subgrupo, reforçando sua robustez intrínseca. Além disso, a diferença nas proporções de fraturas mistas entre as técnicas AC e CAP para as resinas *Beautifil Flow Plus X* e *GC Aligner Connect* sugere que a estratégia adesiva

pode influenciar o modo de falha do complexo, mesmo quando os valores numéricos de resistência de união não são alterados estatisticamente

Do ponto de vista clínico, a previsibilidade do tratamento com alinhadores ortodônticos depende diretamente da estabilidade dos attachments, que são determinantes para a transmissão das forças planejadas [7, 23]. As falhas adesivas, como as observadas neste estudo, não só comprometem a eficácia biomecânica, mas também aumentam o risco de acúmulo de biofilme e lesões cariosas na interface [9,15].

Os resultados deste estudo indicam que a efetividade do condicionamento ácido prévio (CAP) não é universal, estando diretamente relacionada a características intrínsecas de cada compósito, como composição da matriz resinosa, presença de monômeros funcionais e propriedades reológicas [4, 11, 23]. Apenas a resina Beautifil Flow Plus X apresentou aumento significativo na resistência de união após a aplicação do CAP, evidenciando que a resposta adesiva depende fortemente das propriedades específicas do material. Dessa forma, a escolha criteriosa do compósito, aliada à definição adequada do protocolo adesivo, é fundamental para alcançar desempenho clínico previsível. Essa abordagem permite equilibrar propriedades adesivas, mecânicas e bioativas, favorecendo a estabilidade da interface resina-esmalte e contribuindo para a precisão biomecânica dos tratamentos com alinhadores ortodônticos.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a resistência de união dos attachments ortodônticos ao esmalte não depende exclusivamente do protocolo adesivo empregado. O condicionamento ácido prévio (CAP) não se mostrou um protocolo universal, promovendo aumento significativo na resistência de união apenas para a resina *Beautiful Flow Plus X*, que também apresentou os maiores valores médios entre os materiais testados. Para as demais resinas, o desempenho adesivo foi estatisticamente semelhante entre os protocolos com e sem condicionamento ácido. Observou-se ainda que a interface resina–esmalte constituiu o ponto mais vulnerável da união, evidenciado pela predominância de falhas adesivas em todos os grupos experimentais.

## REFERÊNCIAS

1. Alkattan R. Adhesion to enamel and dentine: an update. *Prim Dent J.* 2023;12(3):33–42. doi: 10.1177/20501684231196756
2. Baba N, Taira Y, Matsumura H, Atsuta M. Effect of disinfectants containing glutaraldehyde on bonding of a tri-n-butylborane initiated resin to dentine. *J Oral Rehabil.* 2002;29(5):478–83. doi: 10.1046/J.1365-2842.2002.00848.X
3. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955;34(6):849–53. doi: 10.1177/00220345550340060801
4. Chen W, Qian L, Qian Y, Zhang Z, Wen X. Comparative study of three composite materials in bonding attachments for clear aligners. *Orthod Craniofac Res.* 2021;24(4):520–7. doi: 10.1111/OCR.12465
5. Jedliński M, Mazur M, Greco M, Belfus J, Grocholewicz K, Janiszewska-Olszowska J. Attachments for the Orthodontic Aligner Treatment-State of the Art-A Comprehensive Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(5). doi: 10.3390/IJERPH20054481
6. Costa R, Calheiros FC, Ballester RY, Gonçalves F. Effect of three different attachment designs in the extrusive forces generated by thermoplastic aligners in the maxillary central incisor. *Dental Press J Orthod.* 2020;25(3):46–53. doi: 10.1590/2177-6709.25.3.046-053.OAR
7. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* 2017;62 Suppl 1:58–62. doi: 10.1111/ADJ.12480
8. Han JM, Lin H, Zheng G, Shinya A, Gomi H, Shinya A, Lin J. Effect of nanofiller on wear resistance and surface roughness of resin composites. *Chin J Dent Res.* 2012;15(1):41-7. PMID: 22866282.
9. Weckmann J, Scharf S, Graf I, Schwarze J, Keilig L, Bourauel C, et al. Influence of attachment bonding protocol on precision of the attachment in aligner treatments. *J Orofac Orthop.* 2020;81(1):30–40. doi: 10.1007/S00056-019-00204-7
10. Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, Siciliani G. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. *Angle Orthod.* 2017;87(1):11–8. doi: 10.2319/113015-813.1
11. Valeri C, Aloisio A, Mummolo S, Quinzi V. Performance of Rigid and Soft Transfer Templates Using Viscous and Fluid Resin-Based Composites in the Attachment Bonding Process of Clear Aligners. *Int J Dent.* 2022;2022. doi: 10.1155/2022/1637594
12. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res.* 1982;16(3):265–73. doi: 10.1002/JBM.820160307

13. Zanet G, Caio, Arana-Chavez E. Victor. Scanning electron microscopy evaluation of the effect of etching agents on human enamel surface. *J Clin Pediatr Dent*. 2006; doi: 10.17796/jcpd.30.3.x5q47j208g064366
14. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater*. 2011 Jan;27(1):17-28. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.023. Epub 2010 Nov 24. PMID: 21109301.
15. Kircelli BH, Kilinc DD, Karaman A, Sadry S, Gonul EY, Gögen H. Comparison of the bond strength of five different composites used in the production of clear aligner attachments. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2023;124(6). doi: 10.1016/J.JORMAS.2023.101481
16. Dickinson GL, Leinfelder KF, Mazer RB, Russell CM. Effect of surface penetrating sealant on wear rate of posterior composite resins. *J Am Dent Assoc*. 1990;121(2):251–5. doi: 10.14219/JADA.ARCHIVE.1990.0240
17. Jyothi V, Kumar P, Nair PMS, D'costa VF, Perla JK. An In Vitro Comparison of Seventh-and Eighth-generation Dentin Bonding Agents Microtensile Durability Employing Giomer. *World Journal of Dentistry*. 2024;15(1):1–5. doi: 10.5005/jp-journals-10015-2368
18. Yoshida Y, Van Meerbeek B, Nakayama Y, Yoshioka M, Snauwaert J, Abe Y, Lambrechts P, Vanherle G, Okazaki M. Adhesion to and decalcification of hydroxyapatite by carboxylic acids. *J Dent Res*. 2001 Jun;80(6):1565-9. doi: 10.1177/00220345010800061701. PMID: 11499514.
19. Najafi -Abrandabadi A, Najafi -Abrandabadi S, Ghasemi A, Kotick PG. Microshear bond strength of composite resins to enamel and porcelain substrates utilizing unfilled versus filled resins. vol. 11. 2014
20. Moszner N, Salz U. New developments of polymeric dental composites. *Prog Polym Sci*. 2001;26(4):535–76. doi: 10.1016/S0079-6700(01)00005-3
21. Ure D, Harris J. Nanotechnology in dentistry: reduction to practice. *Dent Update*. 2003;30(1):10–5. doi: 10.12968/DENU.2003.30.1.10
22. Moszner NSU. New developments of polymeric dental composites. *Prog Polym Sci*. 2001;26(4):535–76
23. Hartshorne J, Wertheimer MB. Emerging insights and new developments in clear aligner therapy: A review of the literature. *AJO-DO Clinical Companion*. 2022;2(4):311–24. doi: 10.1016/J.XAOR.2022.04.009