



CARLOS EDUARDO DE PAIVA CAMPOS

NOGUEIRA SIMÃO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO E DO GRAU DE
CONVERSÃO DE RESINAS
COMPOSTAS UTILIZADAS PARA
CONFECÇÃO DE *ATTACHMENTS*
ORTODÔNTICOS COM DIFERENTES
PROTOCOLOS DE
FOTOPOLIMERIZAÇÃO**

**Natal/RN
2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ODONTOLÓGICAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CLÍNICAS ODONTOLÓGICAS**

CARLOS EDUARDO DE PAIVA CAMPOS NOGUEIRA SIMÃO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E DO GRAU DE
CONVERSÃO DE RESINAS COMPOSTAS UTILIZADAS PARA CONFEÇÃO DE
ATTACHMENTS ORTODÔNTICOS COM DIFERENTES PROTOCOLOS DE
FOTOPOLIMERIZAÇÃO**

NATAL/RN

2024

CARLOS EDUARDO DE PAIVA CAMPOS NOGUEIRA SIMÃO

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E DO GRAU DE
CONVERSÃO DE RESINAS COMPOSTAS UTILIZADAS PARA CONFECÇÃO DE
ATTACHMENTS ORTODÔNTICOS COM DIFERENTES PROTOCOLOS DE
FOTOPOLIMERIZAÇÃO

Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Ciências Odontológicas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Área de concentração – Clínicas Odontológicas.

Orientador: Prof. Dr. Sergei Godeiro Fernandes Rabelo Caldas.

NATAL/RN

2024



Esta obra está licenciada com uma licença *Creative Commons* Atribuição 4.0 Internacional. Permite que outros distribuam, remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho, mesmo comercialmente, desde que creditem a você pela criação original. Link dessa licença: creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode

A defesa deste trabalho foi realizada no dia 30 de Julho de 2024, em Natal/RN, tendo sido aprovado (a).

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Antônio Ribeiro
Associação Brasileira de Odontologia, ABO/RN
1º Examinador

Prof. Dr. Marcus Vinicius Neiva Nunes do Rego
Universidade Federal do Piauí, UFPI
2º Examinador

Prof. Dr. Sergei Godeiro Fernandes Rabelo Caldas
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN
Presidente - Orientador

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Alberto Moreira Campos - -Departamento de
Odontologia - DOD

Simão, Carlos Eduardo de Paiva Campos Nogueira.
Avaliação da resistência ao cisalhamento e do grau de conversão de resinas compostas utilizadas para confecção de attachments ortodônticos com diferentes protocolos de fotopolimerização / Carlos Eduardo de Paiva Campos Nogueira Simão. - Natal, 2024.
54 f.: il.

Orientação: Prof. Dr. Sergei Godeiro Fernandes Rabelo Caldas.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-graduação em Ciências Odontológicas. Natal, RN, 2024.

1. Resistência ao cisalhamento - Tese. 2. Resinas Compostas - Tese. 3. Alinhadores estéticos - Tese. I. Caldas, Sergei Godeiro Fernandes Rabelo. II. Título.

RN/UF/BSO

BLACK D4

CARLOS EDUARDO DE PAIVA CAMPOS NOGUEIRA SIMÃO

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E DO GRAU DE
CONVERSÃO DE RESINAS COMPOSTAS UTILIZADAS PARA CONFEÇÃO DE
ATTACHMENTS ORTODÔNTICOS COM DIFERENTES PROTOCOLOS DE
FOTOPOLIMERIZAÇÃO

Dissertação apresentada no Programa de Pós-
graduação em Ciências Odontológicas da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
– Área de concentração – Clínicas
Odontológicas.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sergei Godeiro Fernandes Rabelo Caldas

Orientador

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Prof. Dr. Alexandre Antônio Ribeiro

Membro externo

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ODONTOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE

Prof. Dr. Marcus Vinicius Neiva Nunes do Rego

Membro externo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a toda minha família, em especial, aos meus pais que são base e apoio, incentivadores fundamentais da minha caminhada profissional. Sempre me aconselharam pelos bons caminhos e colhem comigo todos os frutos. Obrigado por todos os esforços em prol da minha educação.

Agradeço aos meus amigos, por todo o carinho, parceria apoio e conselhos. Em especial, Emmily, Marcela, Fernanda, Luanny, Jocélio e Anna por compartilharem as dores e sabores da pós-graduação e por se mostrarem verdadeiros pilares de apoio sempre nos impulsionando para frente, obrigado por cada palavra, escuta e acolhimento. Agradeço também a minha querida amiga de vida, Joyce Cristine, pelo apoio fundamental para realização de parte dessa pesquisa, não medido esforços para ajudar, você foi luz nessa reta final. Parte do mérito dessa conquista a cada um que esteve ao meu lado nessa caminhada, direta ou indiretamente.

Ao meu orientador, professor Sergei Rabelo, por ser exemplo e referência profissional. Obrigado pela confiança, pelos estímulos, pelos conselhos e por sempre querer me ver mais além frente de onde estou. Obrigado pelas oportunidades até aqui, trabalhar com o senhor é sempre enriquecedor, sua dedicação como professor e pesquisador é admirável e inspiradora.

Aos professores Arthur Alves e Ariane Salgado, agradeço por terem aceitado o convite para serem banca de qualificação. Agradeço especialmente pela cuidadosa análise e pelas contribuições construtivas que vocês fizeram durante a qualificação.

Também agradeço aos professores Marcus Vinicius e Alexandre Ribeiro pela disponibilidade para comporem a banca de defesa desta dissertação. Tenho certeza que suas contribuições serão enriquecedoras para este trabalho.

Agradeço a Juliana que possibilitou o envelhecimento das amostras desta pesquisa. Obrigado pela disponibilidade e por se fazer sempre solícita.

Ao departamento de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e todos os seus funcionários.

A todos os professores que já passaram pela minha vida, em especial os que mais me inspiraram, obrigado por todos os ensinamentos e contribuições, com certeza me fizeram não só um profissional melhor, mas uma pessoa melhor.

RESUMO

Introdução: A fratura ou queda dos *attachments* pode resultar em atrasos no tratamento ortodôntico, em decorrência da perda da efetividade do movimento planejado e/ou *tracking* do alinhador. **Objetivo:** Avaliar a resistência de união ao cisalhamento e o grau de conversão de resinas utilizadas para confecção de *attachments* ortodônticos submetidos a diferentes protocolos de fotopolimerização. **Metodologia:** A amostra do estudo consistiu em 120 incisivos inferiores bovinos que foram incluídos em resina acrílica e utilizados como base para confecção dos *attachments* retangulares com dimensão de 3 mm de comprimento, 1,5 mm de largura e 1 mm de altura. A amostra foi dividida igualmente em 03 grupos correspondentes às resinas Opallis Flow[®], GrandioSO Heavy Flow[®] e Supreme Flowable Restorative[®]. Tais grupos foram subdivididos em 04 grupos (n=10) de acordo com o tempo de polimerização/potência: 03 segundos (3.200 mW/cm²), 06 segundos (3.200 mW/cm²), 20 segundos (1.000 mW/cm²) e 40 segundos (1.000 mW/cm²). Após a instalação dos *attachments*, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de cisalhamento em máquina de ensaio universal (Oswaldo Filizola, São Paulo, Brasil), modelo AME5k, utilizando-se célula de carga de 5kN até ocorrer a fratura. Para o teste de grau de conversão (GC), foram preparados 60 espécimes de resina composta no formato dos *attachments* retangulares com as mesmas dimensões do teste de cisalhamento, divididas em 03 grupos (n=20) de acordo com as resinas supracitadas e subdivididos em 04 grupos (n=05) em relação aos tempos de polimerização estudados. O GC foi analisado após 24h da polimerização dos espécimes a partir da análise de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier - FT-IR (Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, EUA). Os dados foram analisados estatisticamente por meio da ANOVA dois fatores e pós-teste de Tukey. **Resultados:** Houve diferença estatística para o fator resina (p<.001) e tempo de polimerização (p<.001) com interação entre os fatores (p<.001) em relação a resistência de união ao cisalhamento. Em relação ao grau de conversão, houve diferença estatística para o fator resina (p=.024) e tempo de polimerização (p=.020) sem interação entre os fatores. **Conclusão:** A resina nanoparticulada (Supreme Flowable Restorative[®]) e o maiores tempos de polimerização (20 e 40 segundos) apresentaram melhor desempenho mecânico no teste de resistência de união ao cisalhamento e maior grau de conversão.

Palavras-chave: Resistência ao cisalhamento. Resinas. Alinhadores estéticos.

ABSTRACT

Introduction: Fracture or fall of attachments can cause delays in orthodontic treatment, causing loss of effectiveness of planned movement and/or tracking of the aligner. **Objective:** To evaluate the shear bond strength and degree of conversion of resins used to manufacture orthodontic attachments subjected to different photopolymerization protocols. **Methodology:** The study sample consisted of 120 bovine lower incisors embedded in acrylic resin and used as a base for making rectangular attachments measuring 03 mm in length, 1.5 mm in width and 1 mm in height. The sample was divided equally into 03 groups corresponding to the resins Opallis Flow[®], GrandioSO Heavy Flow[®] and Supreme Flowable Restorative[®]. These groups were subdivided into 04 groups (n=10) according to the polymerization time: 03 seconds (3.200 mW/cm²), 06 seconds (3.200 mW/cm²), 20 seconds (1.000 mW/cm²) and 40 seconds (1.000 mW/cm²). After installing the attachments, the specimens were subjected to shear testing in a universal testing machine (Oswaldo Filizola, São Paulo, Brazil), model AME5k, using a 5kN load cell until fracture occurred. For the conversion degree (GC) test, 60 composite resin specimens were prepared in the shape of rectangular attachments with the same dimensions as the shear test, divided into 03 groups (n=20) according to the aforementioned resins and subdivided into 04 groups (n=05) in relation to the polymerization times studied. The GC was analyzed after 24h of polymerization of the specimens using FT-IR infrared spectroscopy analysis (Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, USA). The data were statistically analyzed using two-way ANOVA and Tukey's post-test. **Results:** there was a statistical difference for the resin factor (p<.001) and polymerization time (p<.001) with interaction between the factors (p<.001) in relation to shear bond strength. Regarding the degree of conversion, there was a statistical difference for the resin factor (p=.024) and polymerization time (p=.020) with no interaction between the factors. **Conclusion:** The nanoparticle resin (Supreme Flowable Restorative[®]) and the longer polymerization time (20 and 40 seconds) showed better mechanical performance in the shear bond strength test and a higher degree of conversion. **Keywords:** Shear strength. Resins. Aesthetic aligners.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 –	Características dos compósitos resinosos utilizados no estudo.....	24
Tabela 2 –	ANOVA 2-fatores para os fatores “resina”, “tempo de polimerização” e interação “resina x tempo de polimerização” em relação à resistência ao cisalhamento.....	36
Tabela 3 –	Média, desvio padrão e valor de p para resistência ao cisalhamento considerando o fator “Resina” em MPa.....	36
Tabela 4 –	Média, desvio padrão e valor de p para resistência ao cisalhamento considerando o fator “tempo de polimerização” em MPa.....	37
Tabela 5 –	Média, desvio padrão e valor de p para os grupos experimentais propostos em relação a resistência de união ao cisalhamento.....	37
Tabela 6 –	ANOVA 2-fatores para os fatores “resina”, “tempo de polimerização” e interação “resina x tempo de polimerização” em relação ao grau de conversão.....	38
Tabela 7 –	Média, desvio padrão e valor de p para grau de conversão considerando o fator “Resina” em porcentagem.....	39
Tabela 8 –	Média, desvio padrão e valor de p para grau de conversão considerando o fator “Tempo de polimerização” em porcentagem.....	39
Tabela 9 –	Média, desvio padrão e valor de p para os grupos experimentais testados para o grau de conversão.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Fórmula estrutural do bisfenol A-glicidil metacrilato (Bis-GMA).....	15
Figura 2 –	Fórmula estrutural do trietileno glicol dimetacrilato (TEGDMA).....	16
Figura 3 –	Fórmula estrutural do bisfenol A dimetacrilato etoxilado (BisEMA).....	16
Figura 4 –	Composição das resinas compostas baseada nas partículas de carga.....	17
Figura 5 –	Fórmula estrutural da canforoquinona.....	17
Figura 6 –	Regiões aproximadas que vários tipos comuns de ligação absorvem (apenas vibrações de estiramento).....	21
Figura 7 –	Seccionamento das raízes dos dentes bovinos.....	27
Figura 8 –	Fluxograma do desenho experimental para ensaio de cisalhamento.....	26
Figura 9 –	Coroas dos dentes bovinos posicionadas no molde de silicone com a face vestibular voltada para baixo.....	27
Figura 10 –	Acrilização das coroas dos dentes bovinos.....	27
Figura 11 –	Planificação da superfície vestibular dos dentes bovinos.....	28
Figura 12 –	Produção dos <i>templates</i>	29
Figura 13 –	Delimitação da área de adesão.....	29
Figura 14 –	Condicionamento da superfície do esmalte.....	30
Figura 15 –	Polimerização do sistema adesivo.....	31
Figura 16 –	Aplicação de pressão manual com dispositivo modificado com orifício para o attachment.....	32
Figura 17 –	Ensaio de cisalhamento.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS

BHT	Butil hidroxítolueno
BisEMA	Bisfenol A-diglicil metacrilato etoxilado
BisGMA	Bisfenol A-glicidil metacrilado
HDDMA	Dimetacrilato de 1,6-hexanodiol
TEGDMA	Trietilenoglicol-dimetacrilato
GC	Grau de conversão
FT-IR	Espectroscopia de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	Resistência de união ao cisalhamento.....	13
2.2	Resinas compostas.....	14
2.3	Reação de polimerização de resinas compostas fotopolimerizáveis.....	17
2.4	Fatores que interferem na polimerização da resina.....	18
2.4.1	Cor da resina composta.....	18
2.4.2	Composição do material resinoso.....	18
2.4.3	Influência das partículas de carga.....	19
2.4.4	Tipo e intensidade da fonte luminosa.....	19
2.4.5	Tempo de fotopolimerização.....	19
2.4.6	Temperatura e umidade.....	20
2.4.7	Espectroscopia de absorção no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR).....	20
3	OBJETIVOS.....	22
3.1	Objetivo geral.....	22
3.2	Objetivos específicos.....	22
4	HIPÓTESES.....	23
5	METODOLOGIA.....	24
5.1	Natureza do estudo.....	24
5.2	Considerações éticas.....	24
5.3	Ensaio de cisalhamento.....	24
5.3.1	Informações das resinas utilizadas.....	24
5.3.2	Preparo dos dentes bovinos.....	25
5.3.3	Confecção dos <i>templates</i>	28
5.3.4	Preparação das amostras.....	29
5.3.5	Instalação dos <i>attachments</i>	31
5.3.6	Envelhecimento das amostras.....	32
5.3.7	Ensaio de resistência de união ao cisalhamento.....	33
5.4	Grau de Conversão.....	33
5.4.1	Preparo das amostras para FT-IR.....	33
5.5	Análise estatística.....	35
6	RESULTADOS.....	36
6.1	Resistência de união ao cisalhamento.....	36
6.2	Grau de conversão.....	38
7	DISCUSSÃO.....	41
8	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O número de pacientes adultos à procura de tratamento ortodôntico para resolução de problemas funcionais e estéticos tem crescido nas últimas décadas. Com o aumento da demanda, cresce também a exigência por tratamentos mais estéticos e confortáveis, e o tratamento com alinhadores ortodônticos surgiu para suprir essa lacuna com uma tendência de aumento ao longo dos anos, podendo ocupar de 20 a 40% da demanda de tratamento nos consultórios. (Abu-Arquib et al., 2023; Adobes-Martin et al., 2021; Tamer; Öztas; Marsan, 2019; Rosvall et al., 2009; Ziuchkovski et al., 2008).

Os benefícios do tratamento com alinhadores incluem maior estética, maior conforto, melhora na higiene bucal e menor tempo de cadeira nas consultas de acompanhamento (Borda et al., 2020; Boyd, 2007; Llera-Romero et al., 2023). Tal modalidade de tratamento tem evoluído nos últimos anos devido ao investimento em pesquisas, evolução dos materiais utilizados na produção dos alinhadores, aumento na experiência clínica com a utilização desses dispositivos e melhora na previsibilidade de alguns movimentos (Barreda et al., 2017).

Em um tratamento com alinhadores ortodônticos, após realizar o diagnóstico inicial e definir os objetivos do tratamento, é realizado um planejamento virtual ou setup com o objetivo de simular os movimentos dentários desejados. Utiliza-se a tecnologia de estereolitografia para, a partir de um modelo digital obtido através de escaneamento intraoral, criar uma série de modelos positivos de resina plástica feitos de polímero fotoativado. A partir desses modelos de resina plástica, são confeccionadas placas em material termoplástico flexível e transparentes à base de poliuretano ou Polietileno Tereftalato Glicol (PET-G) sequenciadas, cada uma correspondendo a um intervalo de tempo de tratamento (Kuo; Miller, 2003).

Para alguns movimentos como translação, torque de incisivos, extrusões dentárias ou correções de giroversões em dentes arredondados como caninos e pré-molares, a previsibilidade do movimento apenas com o uso dos alinhadores pode ser baixa (Eliades; Athanasiou, 2021). Para aumentar a previsibilidade e proporcionar um maior controle tridimensional dos movimentos, foram introduzidos os *attachments* no tratamento com alinhadores (Chen et al., 2021; Dasy et al., 2015).

Os *attachments* são acessórios de resina confeccionados sobre o esmalte dentário, de acordo com o tipo e magnitude de movimento necessário em cada dente (Guedes; Ferronato; Martins, 2019). Possuem a finalidade de aumentar a efetividade na correção das maloclusões com alinhadores, de aumentar a retenção das placas e auxiliar nas movimentações dentárias, principalmente em casos de extrusão/intrusão, rotação e angulação dos dentes (Momtaz, 2016).

O seu posicionamento, espessura, tamanho, formato, quantidade e a sua orientação devem ser definidos de acordo com as diferentes necessidades clínicas do paciente para se alcançar o melhor resultado possível com os alinhadores (Chen et al., 2021; Guedes; Ferronato; Martins, 2019). Esses podem apresentar vários formatos, sendo os mais comuns os retangulares, os quais podem ter bisel para cervical ou oclusal, e os formatos elipsoides e meia elipse (Liu; Hu, 2018).

Assim sendo, os *attachments* são artificios indispensáveis à mecânica ortodôntica com os alinhadores, especialmente na obtenção de movimentos dentários complexos. Uma vez instalados, devem ser mantidos pelo tempo necessário, sem modificações em sua estrutura, para a correta movimentação dentária, mantendo constantes sua integridade, forma, bem como suas propriedades estéticas e mecânicas durante todo o tratamento (Guedes; Ferronato; Martins, 2019). O desgaste, fratura ou queda dos *attachments* comprometem a eficiência do movimento, podem resultar em perda de *tracking* – perda da adaptação/encaixe – dos alinhadores ortodônticos, decorrendo em atraso no tratamento planejado e até necessidade de confecção de um novo *setup* para continuação do tratamento (Yaosen, Chen et al., 2021).

O material de escolha para a confecção dos *attachments* é a resina composta devido a suas propriedades de adesão e estética (Lee et al., 2016). Em virtude da importância desses dispositivos para o tratamento ortodôntico com alinhadores, é necessário que seja selecionada uma resina com boas propriedades mecânicas e de adesão, já que o sucesso da manutenção do formato original e posição do *attachment* afeta o desfecho do tratamento (Chen et al., 2021). Apesar da importância, poucos trabalhos na literatura investigaram qual resina composta é mais adequada para aplicação clínica na confecção dos *attachments* (Barreda et al., 2017; Chen et al., 2021; Mantovani et al., 2019). Ainda, nenhum trabalho investigou a influência de diferentes protocolos de polimerização nas propriedades mecânicas das resinas utilizadas para confecção de *attachment*, tópico relevante tendo em vista que a polimerização de resinas compostas ativadas por luz visível e as propriedades esperadas desses materiais estão associadas a um adequado processo de fotopolimerização. Sabe-se que uma maior resistência ao cisalhamento está atrelada a uma adequada fotopolimerização do compósito resinoso (Almeida; Martins; Martins, 2018).

Portanto, para que se possa garantir uma boa adesão, propriedades mecânicas adequadas, estabilidade de cor, formato, adesão e estética desses dispositivos do início ao final do tratamento, um protocolo seguro de instalação deve ser seguido, determinando melhores materiais para a confecção dos *attachments* e melhores protocolos de polimerização, visando a obter uma resistência adequada ao cisalhamento provenientes da mastigação e inserção/remoção dos alinhadores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resistência de união ao cisalhamento

O ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento é um dos testes comumente mais utilizados para aferir a resistência de união entre um material e um substrato, principalmente pela simplicidade do procedimento. Algumas vantagens do teste são: fácil preparo das amostras, protocolo simples, e baixa incidência de falha pré-teste (Ismail; Bourauel; Elbanna; Eldin, 2021).

Uma das vantagens desse tipo de teste é a possibilidade de isolar os fatores que estão atuando sobre o material para tentar entender como a carga atua na falha de adesão ou de sua integridade durante o estresse aplicado pela força que incide sobre o material. A ferramenta utilizada para aplicar a força ao material testado pode ter diversos formatos como cinzel, ponta fina ou alças com fios ortodônticos. Um ponto importante para esse tipo de teste de acordo com a ISO/TS 11405 é a padronização da área de adesão para garantir maior fidelidade dos resultados do experimento (Sirisha; Rambabu; Shankar; Ravikumar, 2014).

Em um estudo clássico, Reynolds (1975) apontou que a força de resistência ao cisalhamento clinicamente adequada em relação ao bráquetes ortodônticos para movimentação dentária varia entre 5,9 – 7,8 MPa. Para Knoll, Gwinnett e Wolff (1986) o valor de 2,8 seria suficiente para manter a adesão dos bráquetes ao esmalte. Outro estudo feito por Bishara, Olsen, Damon e Jakobsen (1998) determinou valores de adesão para bráquetes em torno de 10,4 – 11,8 MPa ao comparar colagem de bráquetes com resina a base de ionômero de vidro modificado por resina composta fotopolimerizável e adesivos convencionais (Transbond XT). A diferença entre os valores apontados pelos estudos pode estar relacionado principalmente às diferentes metodologias aplicadas pelos autores, contudo, valores ideais parecem estar entre 5,88 MPa e 13,53 MPa (Rossouw, 2010). Em uma revisão integrativa da literatura (Cruz *et al.*, 2021), a qual incluiu 10 estudos que analisaram a resistência de união ao cisalhamento de bráquetes ortodônticos definiu valor médio de 14,05 MPa ($\pm 6,52$ MPa), valores mais altos de adesão mas que não causaram danos ao esmalte dentário. De todo modo, a literatura, no geral, tem utilizado os valores propostos por Reynolds (1975) como valores mínimos de adesão para colagem ortodôntica.

O ensaio de resistência de união ao cisalhamento já foi utilizado para aferir a resistência da adesão de *attachments* confeccionados em resina composta para movimentações dentária. Chen e colaboradores (2021) utilizaram o ensaio de resistência de união ao

cisalhamento de três compósitos resinosos utilizados para confecção de *attachments* colados ao esmalte dentário: Z350XT, Z350XT *Flow* e *SonicFill*. Foram feitos *attachments* retangulares todos fotopolimerizados por 10 segundos. O ensaio foi conduzido em máquina de ensaio universal na qual um dispositivo em formato de cinzel aplicou força até a fratura do *attachment* a uma velocidade de 1mm/min. Os valores em MPa para cada resina foram Z350XT – 20,53 MPa ($\pm 2,59$), Z350XT *Flow* – 15,3 MPa ($\pm 2,33$) e *SonicFill* – 23,49 MPa ($\pm 3,57$). Todas as resinas testadas apresentaram resistência de união ao cisalhamento em valores adequados apesar da resina *SonicFill* ter apresentado valores superiores de adesão. Outro estudo feito por Alsaud e colaboradores (2022) avaliou a resistência de união ao cisalhamento de compósitos resinosos para confecção de *attachments* colados em cerâmicas que foram tratadas com diferentes tratamentos de superfície.

2.2 Resinas compostas

As resinas compostas foram desenvolvidas em 1963 por Bowen na tentativa de criar um material que poderia ser aplicado dentro da Odontologia restauradora de maneira mais estética. O monômero desenvolvido por Bowen foi o bisfenol A-glicidil metacrilato (Bis-GMA), o qual se trata de um monômero de cadeia longa multifuncional. A adição de partículas de quartzo silanizadas ao monômero, diminuiu de maneira substancial a contração de polimerização, expansão térmica e sorção de água, ao passo que aumentou o módulo de elasticidade e dureza superficial (Bowen, 1963). A partir daí, novos monômeros foram sendo criados e aperfeiçoados levando à melhorias nas propriedades químicas e físicas das resinas, resultando em um aumento de possibilidades nas aplicações clínicas.

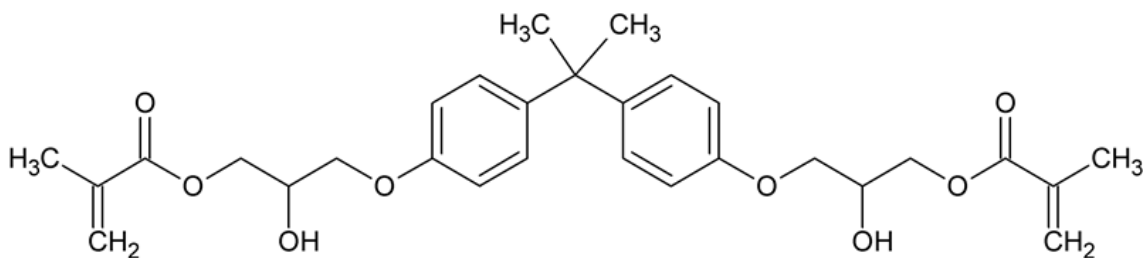
As resinas compostas, em geral, possuem duas porções em sua composição básica: a matriz orgânica formada principalmente por monômeros resinosos e outros componentes como iniciadores, estabilizadores, inibidores e pigmentos; e a matriz inorgânica composta principalmente pelas partículas de carga (Peutzfeldt, 1997; Sideridou; Tserki; Papanastasiou, 2002). A composição das resinas é um dos fatores cruciais que determinam suas propriedades mecânicas. Entre esses fatores, o tamanho da partícula de carga e a quantidade de carga presentes no material exercem influência significativa. (Stahl et al., 2000).

Os monômeros dispersos na parte orgânica das resinas são de extrema importância tendo em vista que são eles que irão reagir e formar o polímero; os iniciadores são responsáveis por iniciar o processo de polimerização, sendo o mais utilizado atualmente, a canforoquinona; temos também o agente de união que possibilita a união entre a fase orgânica e as partículas de

carga, em geral, o silano. As partículas inorgânicas também chamadas de partículas de carga, dão maior resistência mecânica às resinas compostas além de diminuir a contração de polimerização dos compósitos, influenciarem no acabamento superficial, polimento, e conseqüentemente, sobre a estabilidade estética da resina (Elfakhri et al., 2022).

O monômero mais utilizado em odontologia atualmente é o Bis-GMA (Figura 1), que se caracteriza por ser um monômero de alto peso molecular de cadeia longa com duplas ligações de carbono reativas em suas extremidades (Sideridou; Tserki; Papanastasiou, 2002).

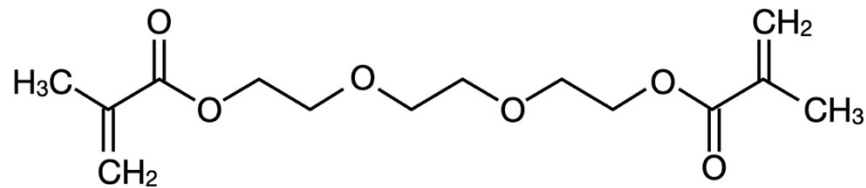
Figura 1 - Fórmula estrutural do bisfenol A-glicidil metacrilato (Bis-GMA).



Fonte: ESSTECH, Inc. (2024)

Por ser uma molécula de alto peso molecular e possuir um extenso comprimento, a contração de polimerização reduz, além da estrutura aromática presente no centro da molécula conferir maior viscosidade à massa resultante. Em razão da alta viscosidade conferida por esse monômero, torna-se necessário que monômeros diluentes, com baixo peso molecular, estejam associados na composição da resina. O trietileno glicol dimetacrilato (TEGDMA) é amplamente utilizado como diluente do Bis-GMA. Trata-se de uma molécula linear relativamente flexível, que, assim como o Bis-GMA, possui ligações insaturadas de carbono nas extremidades (figura 2). Além de atuar como diluente, o TEGDMA desempenha um papel crucial como agente de ligação cruzada, substancialmente melhorando a polimerização do monômero e as propriedades físicas da resina (Peutzfeldt, 1997). Contudo, devido ao baixo peso molecular, pode aumentar a contração de polimerização do compósito, deixando claro que a formulação da resina é crítica para um adequado desempenho de suas propriedades.

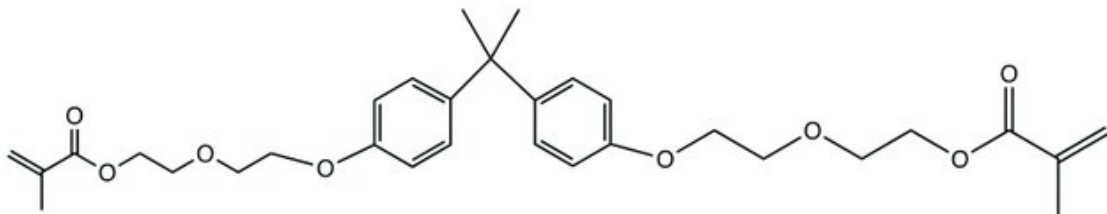
Figura 2 - Fórmula estrutural do trietileno glicol dimetacrilato (TEGDMA).



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Outro monômero utilizado na composição das resinas compostas é BisEMA (bisfenol A dimetacrilato etoxilado) (Figura 3). É um monômero multifuncional que possui uma estrutura molecular análoga à do Bis-GMA. Ele é derivado do Bis-GMA por meio da substituição da hidroxila por um átomo de hidrogênio, o que impede a formação de pontes de hidrogênio entre os monômeros e apresenta viscosidade significativamente maior que a do Bis-GMA (Sideridou; Tserki; Papanastasiou, 2002).

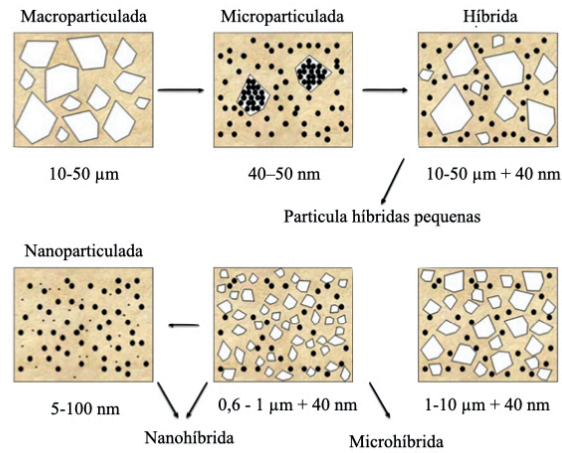
Figura 3 - Fórmula estrutural do bisfenol A dimetacrilato etoxilado (BisEMA).



Fonte: ESSTECH, Inc. (2024)

Diferentes materiais podem ser utilizados como partículas de carga. As resinas compostas podem ser classificadas quanto ao tipo e tamanho das partículas de carga presentes em sua matriz. A divisão acontece da seguinte forma: macroparticuladas (partículas de 10 a 50 μm), microparticuladas (partículas de 40-50 nm), híbridas (com partículas de 10-50 μm e 10-50 nm), nanohíbridas (partículas de 0.5-1.0 μm e 10-50 nm) e nanoparticuladas (partículas de 5-100 nm) (Zhou *et al.*, 2019) (figura 4).

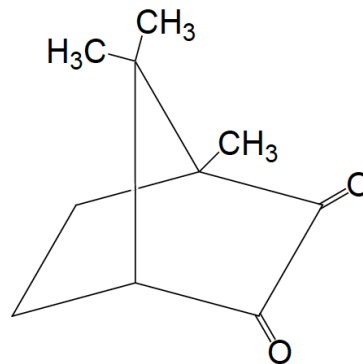
Figura 4 - Composição das resinas compostas baseada nas partículas de carga.



Fonte: adaptado de Ferracane (2011).

2.3 Reação de polimerização de resinas compostas fotopolimerizáveis

Figura 5 - Fórmula estrutural da canforoquinona.



Fonte: Belato *et al.* (2016).

A polimerização ocorre quando a luz utilizada excita moléculas fotossensíveis, chamadas de fotoiniciadoras. O fotoiniciador mais utilizado nas resinas compostas é a canforoquinona (figura 4), uma dicetona que possui pico de absorção em 468 nm. Essas moléculas se excitam ao absorver luz visível entre 400 à 550 nm e passam para um estado excitado tripleto e interagem com moléculas ativadoras, como aminas terciárias, como a DMAEMA (Acrilato de Dimetilaminoetila). Essa interação gera radicais livres que atacam as ligações duplas alifáticas – não ligadas a anéis aromáticos – nos monômeros, iniciando o processo de polimerização. Inicialmente, há uma maior quantidade de monômeros do que de radicais livres, o que favorece a taxa de propagação das cadeias reativas. À medida que a reação

avança e o meio reacional se torna menos viscoso, as concentrações entre radicais livres e polímeros formados se equilibram, pois, parte dos monômeros já foi incorporada às cadeias em propagação, formando macroradicaís. Em seguida, a taxa de terminação da reação aumenta devido à alta probabilidade de interação entre os radicais das cadeias, que se combinam para formar ligações (Cook; Standish, 1983; Jakubiak *et al.*, 2003; Stansbury, 2000).

É importante ressaltar que as reações de polimerização nunca ocorrem de maneira completa. Sempre há uma presença significativa de monômero residual com suas duplas ligações (Ferracane; Condor 1990; Ferracane, 1994). Em média, uma resina composta tem o grau de conversão estabelecido em torno de 45 -75%, dependendo de diversos fatores como: composição dos monômeros, tipo, tamanho e quantidade das partículas de carga, tipo de fotoiniciador, técnicas de fotopolimerização, entre outros (Ferracane; Condor 1990; Ferracane, 1994; Peutzfeldt; Asmussen, 2005).

O desempenho clínico dos materiais resinosos depende fortemente do grau de conversão. A qualidade da estrutura polimérica formada, desempenha papel fundamental nas propriedades mecânicas do material (Peutzfeldt; Asmussen, 2005). Ainda, os monômeros residuais podem agir como agentes plastificantes, reduzindo a resistência mecânica do material (Ferracane, 1985).

2.4 Fatores que interferem na polimerização da resina

2.4.1 Cor da resina composta

Diferentes cores de resina composta estão disponíveis no mercado para abarcar a demanda estética e as variações na coloração do substrato dentário. Normalmente, as fabricantes recomendam maiores tempos de fotopolimerização para cores mais escuras. Estudos suportam essa recomendação já que observaram que cores mais escuras podem afetar o grau de conversão da resina composta (Guiraldo *et al.*, 2009; Shortall, 2005). Tons mais escuros exibiram valores mais baixos de microdureza e menor grau de conversão que tons mais claros (Guiraldo *et al.*, 2009).

2.4.2 Composição do material resinoso

As resinas compostas variam significativamente em termos de composição e propriedades, o que afeta diretamente o processo de polimerização. As resinas tradicionais à

base de Bis-GMA (bisfenol A glicidil metacrilato) são amplamente utilizadas devido à sua excelente capacidade de adesão e propriedades mecânicas. Se ocorre um aumento na quantidade de Bis-GMA, a quantidade de monômeros residuais também irá aumentar. Contudo, se monômeros diluentes forem adicionados para compensar os efeitos, a contração de polimerização será maior (Alshaafi, 2017; Mai *et al.*, 2022). A composição desempenha papel fundamental no grau de conversão do compósito.

2.4.3 Influência das partículas de carga

A composição química entre a matriz orgânica e as partículas de carga desempenha um importante papel nas propriedades ópticas e mecânicas do material resinoso. Os monômeros, o tipo de partícula de carga, a quantidade de partícula de carga e o índice de refração das partículas de carga e da matriz polimérica são fatores que podem impactar na capacidade da luz emitida pelo aparelho fotopolimerizador de ser transmitida através das camadas do compósito resinoso, afetando a qualidade do processo de polimerização (Campbell; Johnston; O'Brien, 1986; Emami; Sjödaahl; Söderholm, 2005).

2.4.4 Tipo e intensidade da fonte luminosa

A unidade de luz utilizada para a cura da resina tem um impacto significativo na profundidade e eficiência da polimerização. As lâmpadas halógenas tradicionais, embora eficazes, emitem uma faixa mais ampla de comprimentos de onda e são menos eficientes em comparação com as unidades de LED. Os LEDs modernos são preferidos devido à sua capacidade de emitir luz em comprimentos de onda específicos com pico geralmente em 470 ± 20 nm, correspondendo a faixa azul do espectro visível (geralmente na faixa de 400-500 nm), que correspondem aos fotoiniciadores mais comuns, como a canforoquinona. Além disso, os LEDs são mais eficientes em termos de consumo de energia e têm uma vida útil mais longa (Watts, 2023). Uma polimerização feita de forma deficiente pode causar perda de propriedades físico-químicas e resultar em menor resistência mecânica e menor adesão.

2.4.5 Tempo de fotopolimerização

O tempo de exposição à luz de cura é crucial para garantir uma polimerização completa (Andrzejewska, 2001; Cook; Standish, 1983). Estudos mostram que um tempo insuficiente de

exposição pode resultar em uma conversão incompleta dos monômeros, comprometendo a resistência mecânica e a durabilidade da restauração (Watts, 2023). O tempo de cura recomendado varia dependendo do tipo de resina e da intensidade da luz de cura, mas geralmente gira em torno de 20 a 40 segundos para camadas de até 2 mm de espessura. Exposições mais longas podem ser necessárias para resinas mais escuras ou incrementos mais espessos (Alshaafi, 2017). Estudos pontuam que para uma adequada polimerização de um incremento de resina composta de 2 mm de espessura é necessária uma dose de energia entre 16 – 24 J/cm² (Gritsch *et al.*, 2008; Sobrinho *et al.*, 2000). A dose energética é calculada ao multiplicar a irradiância (mW/cm²) emitida através do aparelho fotopolimerizador pela duração da exposição. De acordo com o cálculo, pode-se imaginar que ao manipular irradiância e tempo, podemos obter mesmo resultado com diferentes protocolos, porém, estudos como o feito por Selig e colaboradores (2015) determinaram, dentro das limitações do estudo, que o tempo de exposição de 2.6 e 5.7 segundos não promoveram um adequado grau de conversão e que apenas tempos de 10 segundos ou mais proporcionaram grau de conversão de 47% ou mais.

2.4.6 Temperatura e umidade

As condições ambientais, como temperatura e umidade, influenciam significativamente a polimerização das resinas compostas. A temperatura elevada pode acelerar a reação de polimerização, enquanto a umidade pode interferir na adesão da resina ao substrato dentário e na estabilidade dimensional. Estudos laboratoriais que simulam o ambiente oral mostram que a combinação de alta temperatura e umidade pode aumentar a tensão de contração e afetar negativamente a integridade da restauração (Alshaafi, 2017).

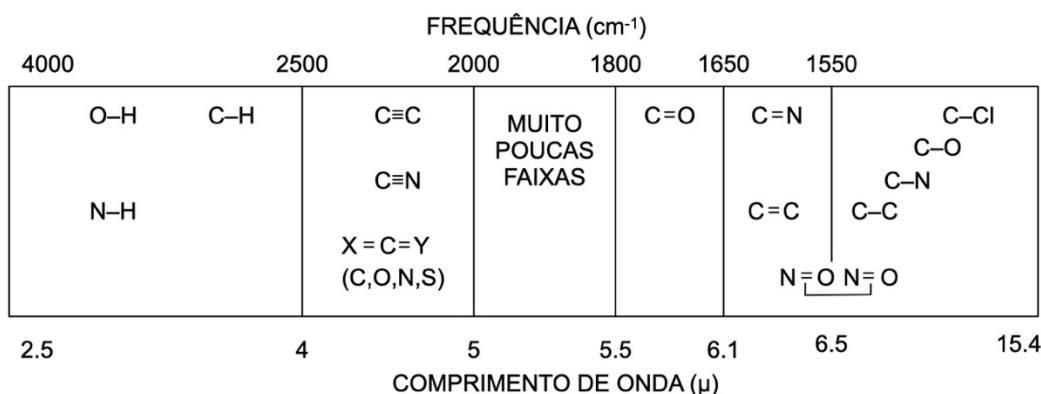
2.4.7 Espectroscopia de absorção no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)

A espectroscopia de absorção na região do infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) é uma técnica amplamente utilizada nos últimos anos para determinação do grau de conversão na polimerização das resinas (Daronch; Rueggeberg; Moss; Goes, 2006). É considerada uma técnica de análise adequada para avaliação do grau de conversão monomérica de resinas compostas (Braga; Ferracane, 2002; Daronch; Rueggeberg; Moss; Goes, 2006; D'Alpino *et al.*, 2007).

A técnica de espectroscopia de absorção no infravermelho baseia-se na frequência de irradiação infravermelha e na frequência vibracional da matéria (figura 5). A irradiação

infravermelha quando absorvida pela amostra converte-se em energia vibracional molecular. A frequência vibracional depende das massas relativas dos átomos ligados, das constantes de força das ligações e da geometria das moléculas (Silverstein; Webster, 2000).

Figura 6 - Regiões aproximadas que vários tipos comuns de ligação absorvem (apenas vibrações de estiramento).



Fonte: Pavia *et al.* (2013).

Nem todas as vibrações de moléculas vão resultar em absorções na região do infravermelho. É necessário que algumas condições aconteçam como: deve haver coincidência (ressonância) entre as frequências da radiação infravermelha e da vibração molecular e a vibração natural deve causar uma mudança no momento do dipolo durante a vibração (Moraes *et al.*, 2008).

Existem dois tipos de vibrações que podem ser detectadas: um tipo de vibração que causa um alongamento na ligação química, chamado de estiramento e outro tipo de vibração que causa uma mudança no ângulo das ligações químicas, chamado de dobramento (Moraes *et al.*, 2008).

O espectro do infravermelho é dividido em 3 regiões: *near* (NIR – de 4000 à aproximadamente 14000 cm⁻¹), *mid* (MIR – de 400 a 4000cm⁻¹) e *far* (FIR – de 25 a 400 cm⁻¹). Para o estudo do grau de conversão de resinas compostas, normalmente utiliza-se a faixa do MIR (*mid-infrared region*) onde se utiliza principalmente a análise da taxa de intensidade entre ligações C=C em 1637cm⁻¹ (pico correspondente as cadeias alifáticas) (Moraes *et al.*, 2008).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

- Avaliar *in vitro* se há diferença na resistência ao cisalhamento e grau de conversão com compósitos resinosos com diferenças em sua composição inorgânica fotopolimerizados com diferentes protocolos de polimerização (tempo e potência) utilizados para confecção dos *attachments* nos tratamentos ortodônticos com alinhadores.

3.2 Objetivos específicos

- Comparar os valores de resistência ao cisalhamento dos diversos compósitos resinosos utilizados para confecção dos *attachments* em tratamentos ortodônticos com alinhadores;
- Comparar os valores de resistência ao cisalhamento através de diferentes protocolos de fotopolimerização utilizados para confecção dos *attachments* em tratamentos ortodônticos com alinhadores.
- Avaliar o grau de conversão dos compósitos resinosos utilizados para confecção de *attachments*

4 HIPÓTESES

De acordo com os objetivos propostos, as hipóteses são:

-H0: Os diferentes tipos de compósitos resinosos apresentam forças de cisalhamento semelhantes;

-H1: Os diferentes tipos de compósitos resinosos apresentam forças de cisalhamento divergentes;

-H0: Os diferentes protocolos de polimerização proporcionam forças de cisalhamento semelhantes;

-H1: Os diferentes protocolos de polimerização proporcionam forças de cisalhamento divergentes;

- H0: O grau de conversão monomérico dos diferentes tipos de compósitos resinosos são semelhantes;

-H1: O grau de conversão monomérico dos diferentes tipos de compósitos resinosos são divergentes;

-H0: O grau de conversão monomérico proporcionado pelos diferentes protocolos de fotopolimerização são semelhantes.

-H1: O grau de conversão monomérico proporcionado pelos diferentes protocolos de fotopolimerização são divergentes.

5 METODOLOGIA

5.1 Natureza do estudo

Trata-se de um estudo experimental *in vitro*, tendo como unidade de teste a força de resistência ao cisalhamento dos *attachments* colados em esmalte de dentes bovinos durante o ensaio mecânico de cisalhamento e o grau de conversão das compósitos resinosos submetidos a diferentes protocolos de fotopolimerização.

5.2 Considerações éticas

Esta pesquisa encontra-se isenta da aprovação por parte da Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (CEUA-UFRN), uma vez que, pela lei, a CEUA é responsável pela análise apenas de animais "vivos" pertencentes ao filo Chordata.

5.3 Ensaio de cisalhamento

5.3.1 Descrição das resinas utilizadas

As informações dos compósitos resinosos como: fabricantes, marcas, tempo de irradiância, composições químicas e lotes dos produtos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos compósitos resinosos utilizados no estudo.

Material/Lote	Cor	Classificação	Fabricante	Tempo/ irradiância (mínimo)	Composição Básica
Resina GrandioSO® Heavy Flow Lote 2149668	A2	Nanohíbrida	VOCO (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil)	20 s / 500 mW/cm ²	BisGMA, BisEMA, TEGDMA, HDDMA, Canforoquinona e BHT. Carga inorgânica: 83% em peso e 68% em volume (nanohíbrida de dióxido de silicato combinadas com vitrocerâmicas).
Resina Supreme Flowable Restorative® Lote NE146611	A2	Nano particulada	3M (Sumaré, São Paulo, Brasil)	20 s / 400 mW/cm ²	BisGMA, TEGDMA, BisEMA, Procrilato e Canforoquinona. Carga inorgânica: 65% em peso e 46% em volume (micropartículas de trifluoreto de itérbio e nanopartículas não-aglomeradas de sílica, nanopartículas não-aglomeradas de zircônia e nanoaglomerados de sílica e zircônia).

Resina Opallis Flow [®] Lote 250821	A2	Microhíbrida	FGM (Joinville, Paraná, Brasil)	40 s / 450 mW/cm ²	BisGMA, Canforoquinona, coincidores, conservantes e pigmentos. Carga inorgânica 72% em peso e 53% em volume (micropartículas de bário-alumínio- silicato e nanopartículas de dióxido de silício).
---	----	--------------	--	----------------------------------	---

BisGMA: Bisfenol A-glicidil metacrilado; BisEMA: Bisfenol A-diglicil metacrilato etoxilado; TEGDMA: trietilenoglicol-dimetacrilato; HDDMA: Dimetacrilato de 1,6-hexanodiol; BHT: Butil hidroxítolueno.

5.3.2 Preparo dos dentes bovinos

Para a colagem dos *attachments* foi utilizada a superfície vestibular do esmalte de 120 incisivos permanentes inferiores bovinos adquiridos em frigoríficos, com tempo pós-extração de, no máximo, 30 dias, visualmente intactos, sem trincas ou fraturas. Os dentes foram armazenados em água destilada a uma temperatura de 4 °C. Com auxílio de curetas periodontais, os tecidos moles aderidos às estruturas dentárias foram removidos, e as raízes foram seccionadas ao nível da junção amelocementária com o auxílio de um disco diamantado dupla face (Microdont, São Paulo, São Paulo, Brasil) montado em um micromotor e peça reta (NKS, Joinville, Santa Catarina, Brasil), sendo todas as raízes descartadas (figura 7).

Figura 7 - Seccionamento das raízes dos dentes bovinos.



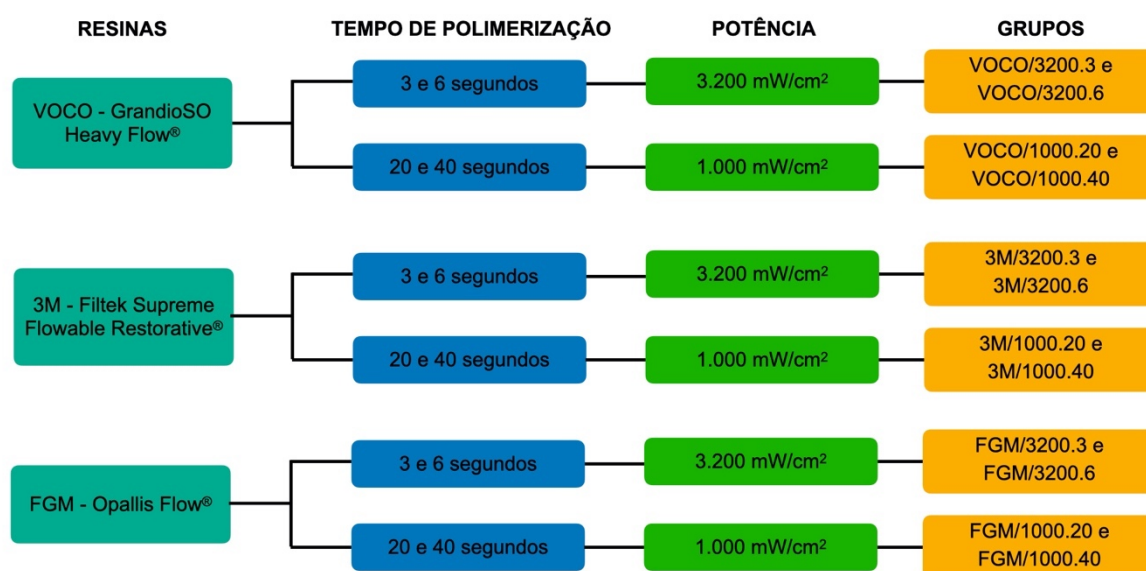
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A distribuição dos dentes foi realizada aleatoriamente de acordo com o compósito resinoso utilizado para a confecção do *attachment*, o tempo de polimerização e a potência do fotopolimerizador. Dessa forma, os 120 dentes foram igualmente divididos em três grandes grupos conforme as resinas testadas: resina Grandioso Heavy Flow[®] (VOCO), resina Filtek Supreme Flowable Restorative[®] (3M) e a resina Opallis Flow[®] (FGM). Os grupos foram

subdividido em doze subgrupos (n=10) para o teste, separados de acordo com o tempo de polimerização correspondendo a 03 segundos e 06 segundos com o aparelho fotopolimerizador de luz LED de alta potência com intensidade de luz de 3200 mW/cm² no modo potência *xtra power* (VALO Ortho[®], Ultradent, South Jordan, Utah, EUA), e 20 segundos e 40 segundos com fotopolimerização em baixa potência, com o mesmo aparelho, com intensidade de luz de 1.000 mW/cm² no modo potência *standard* (figura 8).

As resinas tipo *flow* foram selecionadas devido a facilidade de confecção dos *attachments* e as três resinas selecionadas apresentam quantidades diferentes de partículas de carga em porcentagem e tamanho de acordo com suas classificações descritas na tabela 1.

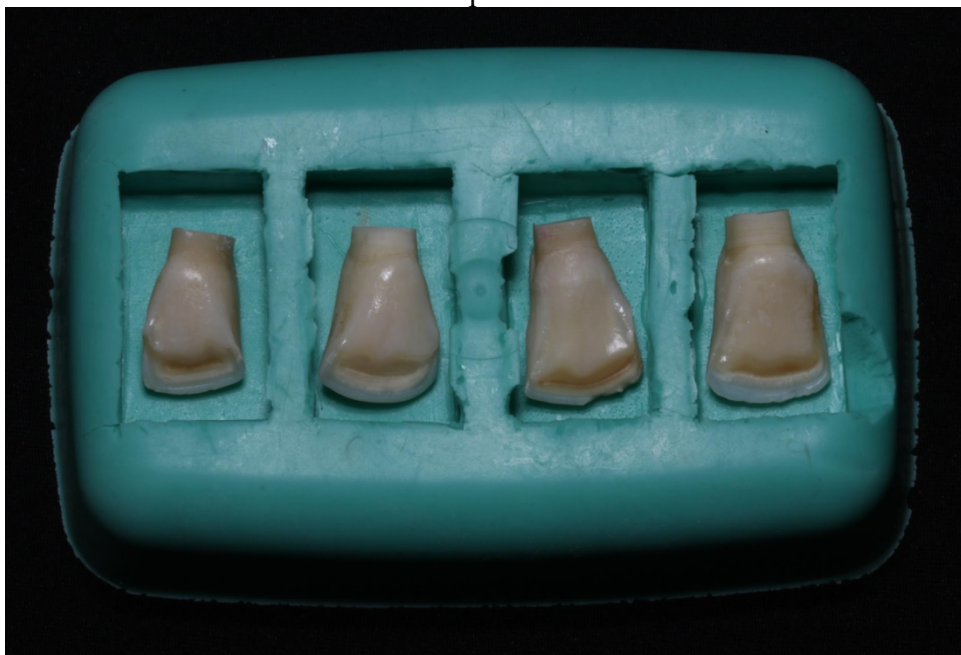
Figura 8 - Fluxograma do desenho experimental para ensaio de cisalhamento.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

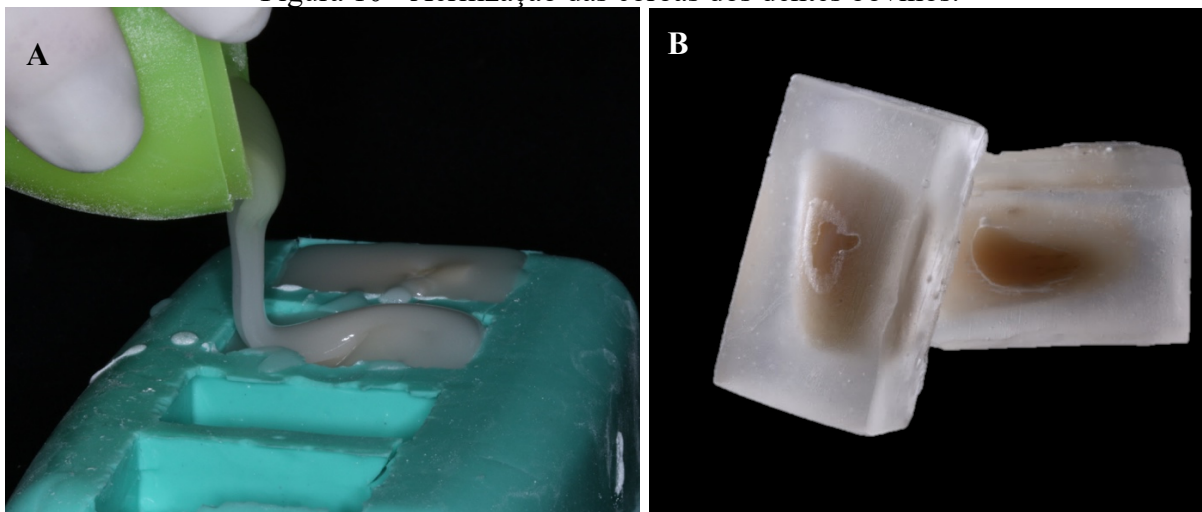
Para adaptação dos corpos de prova na máquina de ensaios universal e padronização durante o posterior teste de cisalhamento, os dentes bovinos foram incluídos em blocos de resina acrílica quimicamente ativada (Vipiflash e Ortocor[®], Vipi, Pirassununga, SP, Brasil) utilizando um molde retangular pré-confeccionado de silicone industrial (Silicone Master[®], Talmax, Curitiba, PR, Brasil), permitindo que a superfície mais plana da face vestibular das coroas toquem a base do molde com intuito de mantê-la exposta após a inclusão (Figura 9 e 10A).

Figura 9 - Coroas dos dentes bovinos posicionadas no molde de silicone com a face vestibular voltada para baixo.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 10 - Acrilização das coroas dos dentes bovinos.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Legenda: A) Inserção da resina acrílica com a superfície mais plana voltada para baixo no molde de silicone. B) Blocos prontos com a superfície mais plana livre de resina acrílica.

Após a polimerização da resina acrílica (figura 10B), as superfícies de todos os corpos de prova foram minimamente planificadas na região do terço médio, incluindo a face vestibular, de acordo com a ISO/TS 1140516 com lixas SiC de granulações progressivas (#200, 400 e 600) durante 10 segundos por lixa, na politriz metalográfica Aropol VV (Arotec, Cotia, São Paulo, Brasil) (figura 11).

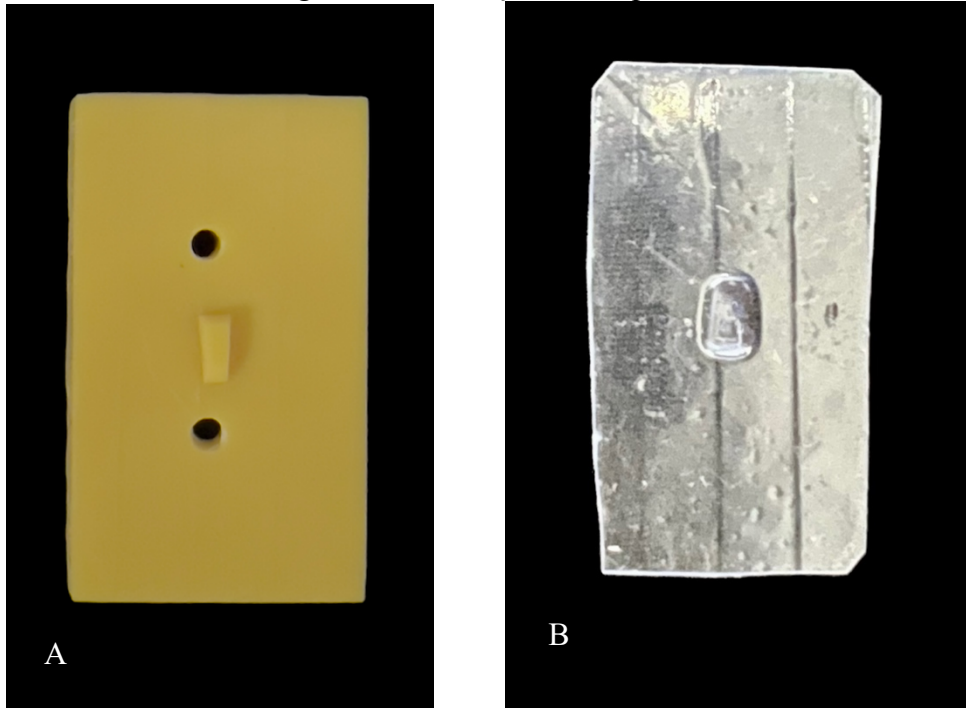
Figura 11 - Planificação da superfície vestibular dos dentes bovinos.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

5.3.3 Confeção dos *templates*

Para confecção do *template* do *attachment*, um dente bovino incluído em resina acrílica foi escolhido aleatoriamente e foi submetido ao escaneamento digital pelo scanner intraoral iTERO (Invisalign, San Jose, Califórnia, EUA). O escaneamento permitiu gerar um arquivo do tipo *.stl*, que foi transferido para o *software ArchForm*[®] (San Jose, Califórnia, EUA), no qual foi feito o planejamento digital do tamanho e da posição do *attachment* no modelo digital do dente embocado a ser utilizado na pesquisa na superfície do esmalte exposto. O modelo do *attachment* é retangular com as medidas de 03 mm de comprimento, 1,5 mm de largura e 01 mm de altura e foi planejado de maneira que permitiu seu posicionamento centralizado na superfície vestibular do dente bovino. Em seguida, foi realizada a impressão 3D da superfície do dente embocado na resina acrílica com o *attachment* posicionado no centro da face do dente (figura 12A). Para confecção dos *templates*, foi utilizada uma placa de PET-G Claris[®] (Morelli, Jardim Saira, Sorocaba), com espessura de 0,76 mm, compatível com a largura de todos os corpos de prova (figura 12B).

Figura 12 - Produção do *template*.

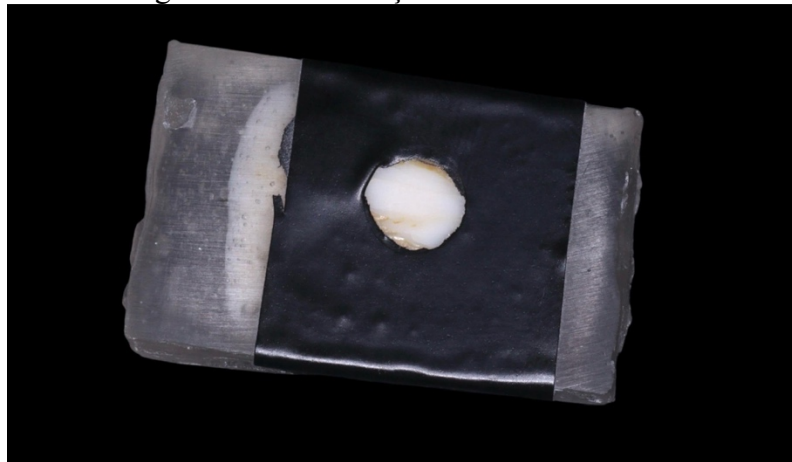
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Legenda: A) Modelo 3D em resina. B) *Template* para confecção do *attachment*.

5.3.4 Preparação das amostras

Previamente ao protocolo de tratamento de superfície, visando à padronização da área de adesão, a área adesiva foi delimitada com o auxílio de fita isolante Scotch Tape® (3M, Ribeirão Preto, Brasil) com um orifício regular de 4,5 mm de diâmetro na face vestibular com esmalte exposto em todas as amostras (figura 13).

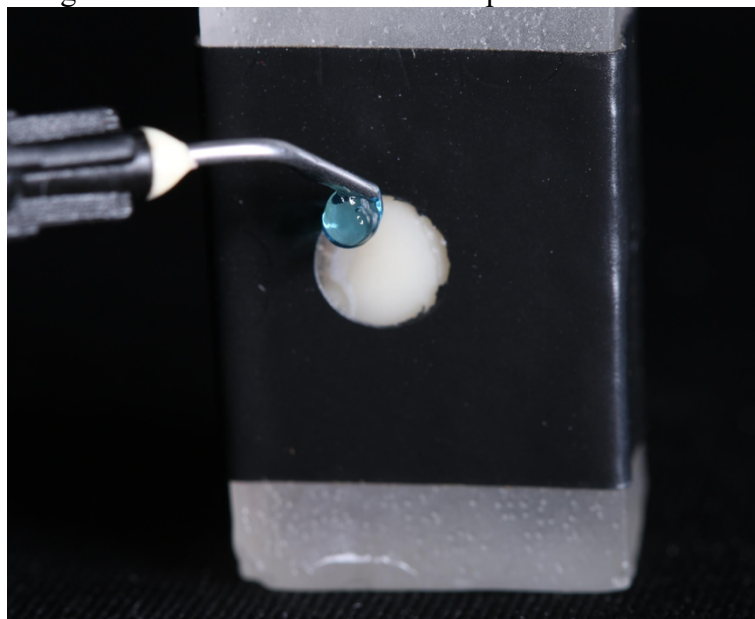
Figura 13 - Delimitação da área de adesão.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

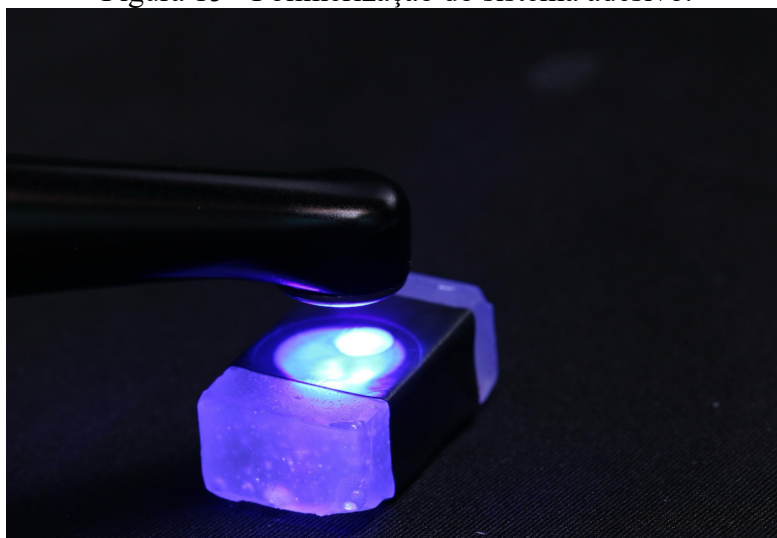
Após essa etapa, foi realizada a profilaxia do esmalte vestibular com pedra pomes e escova de Robinson por 03 segundos, lavagem com jato de água por 05 segundos e secagem por 20 segundos de todos os 120 dentes emblocados. O protocolo para condicionamento da superfície do esmalte foi realizado com ácido fosfórico a 35% Ultra-Etch® (Ultradent, Indaiatuba, São Paulo, Brasil) por 20 segundos (Figura 14), seguido por lavagem com jato de água por 20 segundos e secagem da superfície com jato de ar por 30 segundos, até obter uma superfície devidamente seca com aspecto branco opaco. O adesivo Adper® Single Bond 2 (3M ESPE, St. Paul, Minnesota, EUA) foi aplicado com auxílio de um aplicador de adesivo - *Microbrush* (Figura 4B), seguida por um leve jato de ar por 05 segundos a uma distância aproximada de 20 cm e polimerização durante 20 segundos com o aparelho fotopolimerizador de luz LED com potência de 1000 mW/cm² (VALO Ortho®, Ultradent, South Jordan, Utah, EUA) (figura 15).

Figura 14 - Condicionamento da superfície do esmalte.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 15 - Polimerização do sistema adesivo.



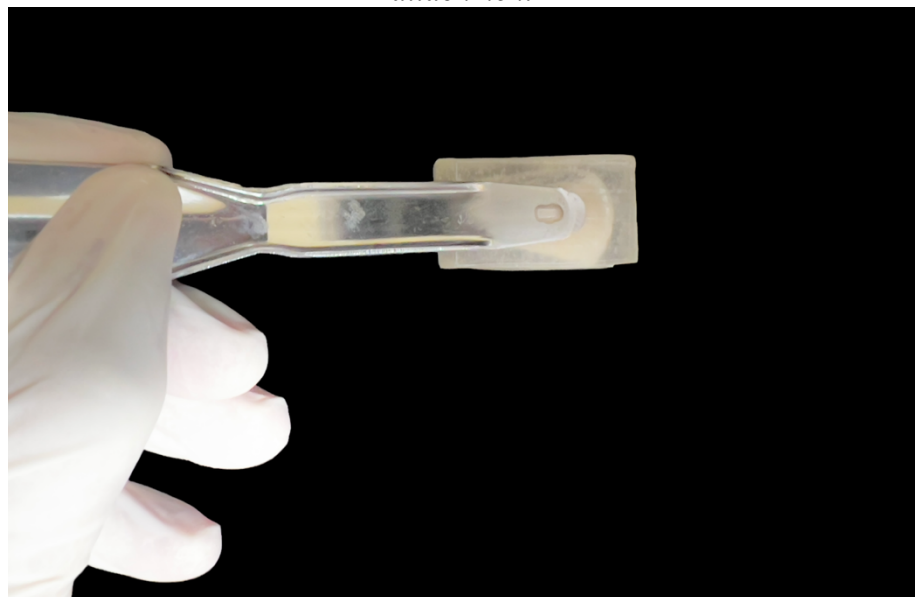
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

5.3.5 Instalação dos *attachments*

Imediatamente antes de iniciar a colagem dos *attachments*, os *templates* foram isolados com uma fina camada de *Cel-Lac*[®] (SS White, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil) e deixados em repouso em temperatura ambiente até a secagem completa.

Os *attachments* foram confeccionados a partir dos nichos dos *templates*. Para isso, os nichos foram completamente preenchidos com os compósitos de acordo com o grupo a qual pertenciam. O preenchimento do nicho foi feito de maneira que não houvesse excessos de material resinoso, de forma lenta e cuidadosa, com o auxílio das ponteiros dos respectivos fabricantes dos compósitos tipo *flow*, evitando a formação de bolhas. O posicionamento do *template* foi definido pelo planejamento virtual e replicado na superfície do esmalte exposto, na área adesiva previamente determinada, com leve pressão manual aplicada com auxílio de dispositivo modificado pelos autores o qual permitiu a fotoativação do compósito através do orifício que se adapta ao formato do *attachment* (figura 16). Em seguida, foi realizada a inspeção visual do *attachment* polimerizado para certificar de que a resina ficou totalmente em contato com a superfície do esmalte.

Figura 16 - Aplicação de pressão manual com dispositivo modificado com orifício para o *attachment*.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Previamente à fotopolimerização, o aparelho fotopolimerizador VALO (VALO® Ortho, Ultradent, South Jordan, Utah, Estados Unidos) teve sua potência medida por meio de um radiômetro. Em seguida, cada *attachment* foi fotoativado na região central de acordo com o protocolo correspondente a cada grupo. Imediatamente após o protocolo de fotoativação, o *template* foi removido para a verificação de eventuais falhas/bolhas, que sendo identificadas, resultaram na exclusão da amostra e a consequente substituição. Os excessos de resina ao redor do *attachments* foram removidos com auxílio de brocas multilaminadas e lâmina de bisturi número 12.

5.3.6 Envelhecimento das amostras

Logo após a colagem dos *attachments*, as amostras de cada grupo foram submetidas a termociclagem (3600 ciclos) em banhos alternados de 5°C e 55 °C com 30 segundos em cada banho e 05 segundos de transição entre os banhos, simulando um envelhecimento de 6 meses (Berzins; Roberts, 2010; Gale; Darvell, 1999).

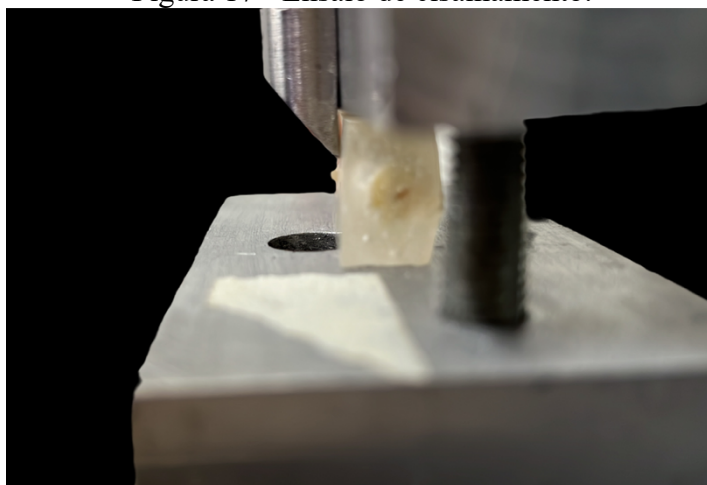
5.3.7 Ensaio de resistência de união ao cisalhamento

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio mecânico de cisalhamento utilizando uma máquina universal de ensaios Oswaldo Filizola (Oswaldo Filizola, São Paulo, Brasil), modelo AME5k, com célula de carga de 5kN. As amostras foram estabilizadas através de um dispositivo metálico capaz de fixar o corpo de prova, de modo que a interface esmalte-adesivo-compósito permaneça perpendicular ao plano horizontal (paralela à força de cisalhamento). Outro dispositivo, em formato de cinzel, foi acoplado à célula de carga (5kN) da máquina e incidiu na interface adesiva a uma velocidade constante de 1 mm/min, até que ocorresse a fratura do *attachment* (figura 17).

A unidade de medida da força foi gerada em Newton (N) e convertida para Megapascal (MPa), seguindo a fórmula abaixo, na qual A representa a área do *attachment*:

$$R(\text{MPa}) = \frac{F(\text{N})}{A(\text{mm}^2)}$$

Figura 17 - Ensaio de cisalhamento.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

5.4 Grau de Conversão

5.4.1 Preparo das amostras para FT-IR

Foram preparados 60 espécimes os quais foram divididos igualmente em 03 grupos de acordo com as resinas estudadas: Opallis Flow[®] (FGM, Joinville, Paraná, Brasil), GrandioSO Heavy Flow[®] (VOCO, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) e Supreme Flowable Restorative[®] (3M, Sumaré, São Paulo, Brasil). Esses grupos foram divididos em subgrupos (n=5), correspondendo ao tempo de polimerização proposto para estudo: 03 segundos (3.200

mW/cm²), 06 segundos (3.200 mW/cm²), 20 segundos (1.000 mW/cm²) e 40 segundos (1.000 mW/cm²), totalizando 12 subgrupos, nos quais foram realizados a medição do grau de conversão (GC) através da análise de espectroscopia de absorção no infravermelho por FT-IR no aparelho modelo *Spectrum Two*[®] (Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, EUA) (figura 8). Esse aparelho possui uma unidade UATR (Universal Attenuated Total Reflection ou Unidade de Reflectância Total Atenuada). As varreduras foram feitas em uma faixa de 4500 a 550 cm⁻¹ com velocidade de 32 *scans* e com resolução de 4 cm⁻¹ e torque de 95 N.

Os espécimes foram padronizados para todos os grupos com o mesmo formato dos *attachments* utilizados nos testes de cisalhamento, 3 mm de comprimento, 1,5 mm de largura e 1 mm de altura. Assim sendo, o *template* foi preenchido com a resina designada para cada grupo e polimerizado com aparelho fotopolimerizador VALO (VALO Ortho[®], Ultradent, South Jordan, Utah, EUA) de acordo com o protocolo de polimerização determinado para cada grupo, através do *template*. As amostras foram submetidas à análise no espectrofotômetro após 24h do processo de polimerização. Durante esse tempo, os espécimes foram armazenados em recipiente à prova de luz para evitar que a luz promovesse alterações na polimerização das amostras.

Para possibilitar o cálculo do grau de conversão, 05 amostras de cada resina não polimerizadas foram analisadas no espectrofotômetro para possibilitar a comparação das mudanças nas estruturas químicas das resinas após a polimerização. Uma média das amostras polimerizadas e uma média das amostras não polimerizadas foi utilizada para realização do cálculo do grau de conversão. Após obtenção dos dados das análises, o percentual de ligações carbônicas não convertidas (%C=C) será determinada pela taxa de intensidade entre ligações C=C em 1.637cm⁻¹ (pico correspondente às cadeias alifáticas) e ligações C=C em 1.610 cm⁻¹ (pico correspondente às cadeias aromáticas), antes e após a polimerização (Asmussen; Peutzfeldt, 2001). O grau de conversão (GC) correspondente será calculado pela subtração da porcentagem de ligações duplas residuais (%C=C) de 100%.

$$(\%C = C) = \frac{Abs(1.637 \text{ cm}^{-1}) / Abs(1.610 \text{ cm}^{-1}) \text{ polímero}}{Abs(1.637 \text{ cm}^{-1}) / Abs(1.610 \text{ cm}^{-1}) \text{ monômero}} \times 100$$

$$GC = 100\% - (\%C = C)$$

5.5 Análise estatística

Os dados obtidos no ensaio de cisalhamento e análise FT-IR foram organizados, tabulados e analisados no *software* Jamovi® (Jamovi Stats Open Now, Sidney, Austrália). A distribuição da normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. A avaliação da resistência ao cisalhamento foi feita considerando os fatores “resina” e “tempo de polimerização” e conduzida pela análise de variância (ANOVA) a 2 fatores e pós-teste de Tukey. O teste de variância (ANOVA) a 01 critério também foi utilizado considerando os fatores “resina e “tempo de polimerização. Os dados do grau de conversão foram analisados utilizando teste de variância (ANOVA) a 01 e 02 critérios. Em todos os testes utilizados, o nível de significância adotado foi de 95%.

6 RESULTADOS

6.1 Resistência de união ao cisalhamento

A análise dos resultados demonstrou que os fatores “resina” ($p < .001$), “tempo de polimerização” ($p < .001$), e a interação “resina x tempo de polimerização” ($p < .001$), apresentaram significância estatística (Tabela 2).

Tabela 2 - ANOVA 2-atores para os fatores “resina”, “tempo de polimerização” e interação “resina x tempo de polimerização” em relação à resistência ao cisalhamento.

Variáveis	SQ	GL	MQ	F	p
Resina	1206	2	603	227	<.001
Tempo de polimerização	705	3	234	88	<.001
Resina x Tempo de polimerização	276	6	45	17	<.001

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

SQ: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; MQ: Média dos quadrados; F: Valor de F.

As médias e desvio padrão dos grupos experimentais para o fator resina estão descritos na Tabela 3. O teste demonstrou que, houve diferença estatística significativa entre os valores de resistência ao cisalhamento das 03 resinas estudadas, sendo a média da Supreme Flowable Restorative® maior, enquanto a resina GrandioSO Heavy Flow® apresentou os menores valores de união.

Tabela 3 - Média, desvio padrão e valor de p para resistência ao cisalhamento considerando o fator “Resina” em MPa.

Resina	Média	DP	p
VOCO - GrandioSO Heavy Flow®	10,94 ^a	4,42	<.001
3M - Supreme Flowable Restorative®	18,33 ^b	2,72	
FGM - Opallis Flow®	16,64 ^c	2,34	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativa entre os grupos. DP: Desvio padrão.

Na tabela 4 estão descritos os valores da médias da resistência ao cisalhamento e o desvio padrão para o fator “tempo de polimerização”. O teste demonstrou que houve diferença

significativa para o fator tempo de polimerização ao comparar o grupo de 03 segundos com os demais, o qual obteve a menor média (11,61 Mpa). O grupo de 06 segundos foi estatisticamente semelhante ao grupo de 20 segundos, enquanto o grupo de 20 segundos demonstrou diferença estatística significativa apenas quando comparado ao grupo de 03 segundos. Em relação ao grupo de 40 segundos, foi observado que este apresentou a maior resistência de união ao cisalhamento sendo estatisticamente semelhante ao grupo de 20 segundos.

Tabela 4 - Média, desvio padrão e valor de p para resistência ao cisalhamento considerando o fator “tempo de polimerização” em MPa.

Tempo	Média	DP	p
3s	11,61 ^a	4,23	<.001
6s	14,73 ^b	5,58	
20s	16,76 ^{bc}	2,32	
40s	18,05 ^c	2,44	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativa entre os grupos. DP: Desvio padrão.

Pode-se observar que o comportamento do grupo da resina Grandioso Heavy Flow[®] foi diferente dos demais, onde os valores de resistência de união ao cisalhamento foram semelhantes entre os grupos de 03 e 06 segundos de fotopolimerização. Porém, estes foram diferentes estatisticamente quando comparados aos grupos de 20 e 40 segundos, que apresentaram semelhança entre si. Para as demais resinas testadas, apenas o tempo de 03 segundos foi estatisticamente diferente dos demais tempos, apresentando menor resistência de união (Tabela 5).

Tabela 5 - Média, desvio padrão e valor de p para os grupos experimentais propostos em relação a resistência de união ao cisalhamento.

Grupos	n	Média	DP	IC (95%)		p
				Mínimo	Máximo	
VOCO/3200.3	10	6,33 ^a	2,14	3,79	8,73	<.001
VOCO/3200.6	10	7,32 ^a	1,52	4,71	9,44	
VOCO/1000.20	10	14,32 ^b	1,32	11,52	15,64	
VOCO/1000.40	10	15,61 ^b	1,0	14,2	17,12	
3M/3200.3	10	14,43 ^a	1,26	12,01	15,52	<.001

3M/3200.6	10	19,32 ^b	1,44	18,14	22,8	
3M/1000.20	10	19,19 ^b	1,44	17,09	21,97	
3M/1000.40	10	20,43 ^b	1,60	18,28	23,14	
FGM/3200.3	10	14,12 ^a	2,18	10,05	17,42	
FGM/3200.6	10	17,48 ^b	2,01	15,03	22,31	
FGM/1000.20	10	16,82 ^b	1,63	14,50	19,94	0.002
FGM/1000.40	10	18,02 ^b	1,54	16,0	20,2	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativa entre os grupos. n: número amostral; DP: Desvio padrão; IC: Intervalo de confiança.

6.2 Grau de conversão

A análise estatística demonstrou que os fatores “resina” ($p=.024$) e “tempo de polimerização” ($p=.020$) apresentaram significância estatística. Contudo, a interação entre os fatores “resina x tempo de polimerização” não apresentou diferença estatisticamente significativa ($p=.126$), ou seja, o comportamento do grau de conversão foi semelhante para os tempos de polimerização avaliados nas resinas estudadas (tabela 6).

Tabela 6 - ANOVA 2-fatores para os fatores “resina”, “tempo de polimerização” e interação “resina x tempo de polimerização” em relação ao grau de conversão.

Variáveis	SQ	GL	MQ	F	p
Resina	1120	2	650	240	.024
Tempo de polimerização	750	3	234	90	.020
Resina x Tempo de polimerização	292	6	50	20	.126

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

SQ: Soma dos quadrados; GL: Graus de liberdade; MQ: Média dos quadrados; F: Valor de F.

As médias e desvio padrão dos grupos experimentais para o fator resina estão descritos na tabela 7. O teste demonstrou que houve diferença estatística entre a resina nanoparticulada (Supreme Flowable Restorative[®]) e as demais resinas. Assim como, não houve diferença

estatística nos valores de grau de conversão entre a resina microhíbrida (Opallis Flow[®]) com a resina nanohíbrida (GrandioSO Heavy Flow[®]).

Tabela 7: Média, desvio padrão e valor de p para grau de conversão considerando o fator “Resina” em porcentagem.

Resina	Média	DP	p
VOCO - GradioSO Heavy Flow [®]	65,85 ^a	1,16	.024
3M - Supreme Flowable Restorative [®]	69,87 ^b	1,50	
FGM - Opallis Flow [®]	66,96 ^a	1,76	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativa entre os grupos. DP: Desvio padrão.

Na tabela 8 estão descritos os valores das médias do grau de conversão e o desvio padrão para o fator “tempo de polimerização”. O teste demonstrou que houve diferença significativa ao comparar o grupo de 03 segundos com os demais. O grupo de 06 segundos foi estatisticamente semelhante ao grupo de 20 segundos. Em relação ao grupo de 40 segundos, este apresentou maior grau de conversão (71,43%) do que os demais grupos, sendo esta diferença estatisticamente significativa.

Tabela 8: Média, desvio padrão e valor de p para grau de conversão considerando o fator “tempo de polimerização” em porcentagem.

Tempo	Média	DP	p
3s	62,84 ^a	1,54	.020
6s	67,64 ^b	1,34	
20s	68,34 ^b	1,66	
40s	71,43 ^c	1,35	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativa entre os grupos. DP: Desvio padrão.

A tabela 9 descreve os valores das médias do grau de conversão (GC%) para os diferentes grupos experimentais testados. Todas as resinas apresentaram comportamento semelhantes em relação ao tempo de fotopolimerização, sendo observado que um maior tempo de polimerização resultou em maior conversão em todas as resinas testadas.

Tabela 9 - Média, desvio padrão e valor de p para os grupos experimentais testados para o grau de conversão.

Grupos	n	Média (%)	DP	IC (95%)		p
				Mínimo	Máximo	
VOCO/3200.3	5	60,31 ^a	1,13	59,34	61,47	,022
VOCO/3200.6	5	65,81 ^b	1,32	64,71	66,44	
VOCO/1000.20	5	67,12 ^b	1,22	66,91	68,44	
VOCO/1000.40	5	70,19 ^c	1,0	69,20	71,96	
3M/3200.3	5	67,69 ^a	1,58	65,91	68,44	,025
3M/3200.6	5	69,25 ^b	1,12	68,94	70,32	
3M/1000.20	5	69,15 ^b	1,84	68,21	70,44	
3M/1000.40	5	73,40 ^c	1,43	71,20	74,15	
FGM/3200.3	5	60,54 ^a	1,92	59,12	61,96	,021
FGM/3200.6	5	67,87 ^b	1,59	66,91	68,44	
FGM/1000.20	5	68,75 ^{bc}	1,94	66,91	69,44	
FGM/1000.40	5	70,71 ^{bc}	1,62	68,51	71,12	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativa entre os grupos. n: número amostral; DP: Desvio padrão; IC: Intervalo de confiança.

7 DISCUSSÃO

Uma vez que houve diferença estatística nos resultados em relação ao fator “resina” e “tempo de polimerização” para a resistência de união ao cisalhamento e grau de conversão monomérico, as hipóteses nulas foram rejeitadas. Foi observado que a composição do compósito resinoso e o tempo de polimerização afetaram significativamente a força de cisalhamento e o grau de conversão das resinas testadas para confecção de *attachments* colados ao esmalte dentário. Também houve interação entre os dois fatores, apontando que o comportamento entre os grupos não foi semelhante quando em relação à resistência de união ao cisalhamento.

As resinas compostas são constituídas essencialmente por duas partes distintas: a matriz orgânica composta principalmente por monômeros resinosos, e a matriz inorgânica composta sobretudo por partículas de carga, as quais desempenham um papel crucial no processo de polimerização da resina (Sideridou; Tserki; Papanastasiou, 2002).

Diferentes fatores como, cinética de polimerização, mobilidade das moléculas monoméricas, combinações de monômeros, quantidade, forma e tamanho das partículas de carga, entre outros aspectos podem influenciar o processo de polimerização e causar alterações nas propriedades físicas e estéticas das resinas (Ilei; Hickel, 2011; Sideridou; Tserki; Papanastasiou, 2002).

Os resultados do trabalho demonstraram que a resina Supreme Flowable Restorative® - nanoparticulada (18.3 MPa) apresentou resistência de união ao cisalhamento superior as resinas Opallis Flow® - microhíbrida (16.6 MPa) e GradioSO Heavy Flow® - nanohíbrida (10.9 MPa). É válido destacar que além da diferença entre os tamanhos das partículas de carga das diferentes resinas, elas apresentam quantidades diferentes em suas composições. A resina nanoparticulada testada possui 46% de partículas de carga em volume; a resina nanohíbrida possui 68% em volume de partículas de carga; e a resina microhíbrida apresenta 53% de partículas de carga em volume. Os clínicos aconselham o uso de resinas para confecção de *attachments* com alta concentração de partículas de carga sugerindo que estas fornecem maior resistência mecânica e resistência ao desgaste superficial. Contudo, os resultados do estudo demonstraram que a resina nanoparticulada, que possui o menor percentual em volume de partículas inorgânicas, apresentou as maiores taxas de resistência ao cisalhamento.

Apesar de existir uma relação entre aumento da quantidade de partículas de carga e as propriedades físicas e mecânicas expressadas pelas resinas, alguns fatores precisam ser levados em consideração. Um aumento no tamanho das partículas de carga, por exemplo, pode levar a

um aumento de estresse mecânico sofrido pela estrutura após polimerização e redução de resistência flexural (Tanimoto et al., 2006). Outros estudos indicam que um aumento no tamanho das partículas de carga e um aumento em sua quantidade em volume podem piorar a resistência ao desgaste de resinas tipo flow (Johnsen; Taxt-Lamolle; Haugen, 2011; Shinkai, et al. 2017).

As resinas nanoparticuladas possuem ampla distribuição das partículas de carga nanométricas, garantindo-lhes ótimas propriedades físicas (Gaglianone et al., 2012). A interação entre duas nanopartículas é muito forte devido à sua área de superfície ser relativamente grande, e as forças de Van der Waals as tornam propensas a se aglomerarem (Bastos et al., 2021). Um estudo avaliou a resistência biflexural de diferentes compósitos resinosos classificados como microparticulados, microhíbridos, nanohíbridos e nanoparticulados. Foi observado que a resina nanoparticulada testada apresentou melhores propriedades quando submetida ao teste de resistência biflexural e atribuiu-se os melhores resultado aos nanoclusters presentes em sua matriz. Os nanoclusters são aglomerados de partículas de carga nanométricas dispersas na matriz do compósito resino que garante melhores propriedades físicas e mecânicas ao material (Curtis et al., 2009). A resina nanoparticulada Supreme Flowable Restorative® testada neste trabalho apresenta menor quantidade de partículas de carga em sua composição, contudo, as características inerentes a esse tipo de material podem garantir melhores propriedades físicas e mecânicas devido o tamanho reduzido de suas partículas e sua melhor interação e distribuição com a fase orgânica da resina.

Em relação a polimerização e sua repercussão nas propriedades dos materiais resinosos, estudos mostraram que a polimerização eficaz de um compósito resinoso depende de vários fatores, sendo dois especialmente significativos: a irradiância (mW/cm^2) emitida pelo fotopolimerizador e a duração da exposição da resina a essa energia (tempo de polimerização). O processo de polimerização depende da absorção de energia pela resina para que aconteça a quebra das moléculas do iniciador que interagem com co-iniciadores e conseqüentemente ocorre a quebra da ligação dupla ($\text{C}=\text{C}$) entre os monômeros para que haja continuidade no processo de polimerização (Beolchi et al., 2015; Da Silva et al., 2008; Halvorson; Erickson; Davidson, 2002). Quanto ao tempo de polimerização, os resultados indicaram uma diferença estatisticamente significativa quando comparada a média geral dos grupos polimerizados por 3 segundos aos demais. A resistência de união ao cisalhamento média das resinas ao esmalte foi de 11,6 MPa para polimerização por 03 segundos, aumentando para 14,7 MPa com 06 segundos, 16,7 MPa com 20 segundos e 18,0 MPa com 40 segundos, mostrando a influência

do tempo de polimerização nesse aspecto. Isso sugere que a polimerização parece ser mais adequada quando realizada por mais tempo e com menor potência.

Diferentes estudos utilizaram o valor de 16 J/cm² (16.000 mW/cm²) como a dose necessária para polimerizar adequadamente um incremento de resina de 02 mm de altura (Gritsch et al., 2008; Peutzfeldt; Asmussen, 2005; Sobrinho et al., 2000). O *attachment* utilizado no ensaio de cisalhamento neste estudo tinha uma altura de 1 mm. Em termos gerais, a dose de energia aplicada a massa do compósito resinoso pode ser calculada multiplicando a irradiância (mW/cm²) do aparelho fotopolimerizador pela duração da exposição (Emami; Söderholm, 2003; Beolchi et al., 2015). As amostras divididas em subgrupos (Figura 8 e 18) foram expostas a 03 e 06 segundos com irradiância de 3200 mW/cm² e a 20 e 40 segundos com irradiância de 1000 mW/cm², resultando em 9,6 J/cm², 19,2 J/cm², 20 J/cm² e 40 J/cm² de energia aplicada, respectivamente. Os resultados indicaram um aumento na resistência conforme o tempo de exposição foi aumentado, apesar da redução na potência do aparelho. Essa diferença é observada de forma significativa ao comparar os grupos polimerizados por 03 segundos (VOCO/3200.3, FGM/3200.3 e 3M/3200.3) com os demais grupos de tempo de polimerização testados. Para efeito de comparação, os grupos fotopolimerizados por 40 segundos (VOCO/1000.40, FGM/1000.40 e 3M/1000.40) receberam, teoricamente, mais de 4 vezes a energia dos grupos polimerizados por 03 segundos. Estudos que avaliaram a microdureza de resinas compostas utilizando diferentes protocolos de fotopolimerização observou que os grupos fotopolimerizados por maior tempo apresentaram valores superiores em comparação com grupos fotopolimerizados com tempo inferior (Santos et al., 2000; Shimokawa et al., 2020).

Apesar dos estudos citados anteriormente apontarem o tempo de polimerização como um dos fatores determinantes para adequada conversão monomérica, ao comparar os grupos de 06 e 20 segundos, os quais receberam praticamente a mesma quantidade de energia em tempos diferentes devido as diferentes potências aplicadas, nota-se que não houve diferença estatística nos resultados entre esses grupos. Embora a média dos grupos polimerizados por 40 segundos (VOCO/1000.40, FGM/1000.40 e 3M/1000.40) ter sido maior que a média dos grupos polimerizados por 20 segundos (VOCO/1000.20, FGM/1000.20 e 3M/1000.20), não houve diferença significativa.

Analisando os valores obtidos para os fatores estudados, “resina” e “tempo de polimerização”, e que esses fatores influenciaram na resistência ao cisalhamento dos compósitos resinosos testados para confecção dos *attachments*, observou-se que tais valores, estão adequados quando comparados aos valores de adesão propostos por Reynolds (1975) para

colagem de bráquetes ortodônticos no tratamento corretivo convencional (5,9 a 7,8 MPa). Tais valores também se encontram dentro da faixa encontrada por Cruz e colaboradores (2021), os quais apontaram valores médios de adesão para bráquetes ao esmalte dentário em torno de 14,05 MPa com desvio padrão de $\pm 6,52$ MPa (intervalo de 7,53 a 20,57 MPa). Assim sendo, os valores apresentados no presente estudo estão acima dos valores médios de adesão dos bráquetes encontrados na literatura com diferentes protocolos de preparo de superfície, sistema adesivo, resina composta, tipo de bráquetes, tempo e potência de polimerização, entre outros. Portanto, ao analisar os valores de adesão obtidos no teste de cisalhamento e pensando na aplicação clínica dos protocolos testados, todas as resinas utilizadas no estudo, assim como, os tempos de polimerização aplicados foram capazes de gerar força de adesão inicial suficiente dos *attachments*. É necessário ponderar durante a escolha do protocolo de polimerização que tempos mais longos podem aumentar o tempo de trabalho clínico bem como poderia dificultar o controle da umidade, favorecendo contaminação da superfície pela saliva.

Em relação ao grau de conversão das resinas estudadas, foi observado que houve diferença significativa considerando os fatores resinas e tempo de polimerização. Contudo, não houve uma interação estatisticamente significativa entre os fatores, evidenciando que o grau de conversão se comportou de maneira semelhante entre as resinas e tempos de polimerização testados, onde o aumento do tempo resultou em aumento no grau de conversão de todas as resinas testadas. Um grau de conversão adequado é essencial para que a resina expresse suas propriedades mecânicas e físicas adequadamente. A ausência de grau de conversão adequado pode tornar o material susceptível à hidrólise ou oxidação e conseqüentemente, uma degradação precoce do compósito utilizado (Yap.; Wong; Siow, 2003).

Analisar o grau de conversão é essencial para determinar propriedades físicas e mecânicas das resinas. Maior conversão de conversão está associado a melhores propriedades do material (Shah.; Stansbury, 2014). Na literatura não há um grau de conversão estabelecido como ideal para todas as restaurações. Contudo, espera-se que um grau de conversão mínimo de 55% seja atingido para que a resina tenha propriedades adequadas (Galvão et al., 2013).

Para os grupos testados, observamos que as diferenças significativamente estatísticas ocorreram principalmente ao comparar os grupos polimerizados por 03 segundos (VOCO/3200.3, FGM/3200.3 e 3M/3200.3) com os grupos polimerizados por 40 segundos (VOCO/1000.40, FGM/1000.40 e 3M/1000.40). Ainda, observou-se que os grupos polimerizados por 40 segundos apresentaram valores médios absolutos maiores que os demais grupos, tendo a resina nanoparticulada Supreme Flowable Restorative® obtido os melhores valores por grupos quando comparada às demais.

Diversos fatores podem influenciar o grau de conversão do monômeros, como: tempo de polimerização, irradiância, tipo de fonte luminosa, número de onda correto, tamanho da ponta do fotopolimerizador, temperatura e umidade, tipos e tamanhos de partícula de carga, entre outros (Alshaafi, 2017 Rastelli; Jacomassi; Bagnato, 2008). As resinas analisadas neste trabalho apresentam diferenças nos tamanhos das partículas de carga (microhíbrida, nanohíbrida e nanoparticulada) e nos tipos que as compões.

Fujita, Ikemi e Nishiyama (2011) analisaram os efeitos do tamanho das partículas de carga de sílica no grau de conversão de resinas compostas manipuladas pelos autores. Foi observado que o aumento no tamanho das partículas de sílica de 0,05 μm para 2 μm resultou em um menor grau de conversão monomérico, principalmente no fundo do material resinoso irradiado com a luz (na base de adesão). Foi relatado que o tamanho da partícula pode influenciar na passagem de luz através do material resino e mudar a maneira como a luz interage com o compósito resinosos, afetando a capacidade de transmissão da luz, absorção pela matriz monomérica e aumento no índice de refração das partículas de carga. Os resultados corroboram com os achados por Turssi, Ferracane e Vogel (2005) que observaram influência dos tamanhos das partículas de carga no grau de conversão resinoso e no espalhamento da luz através da resina composta.

Fidalgo-Pereira e colaboradores (2023) analisaram a influência das partículas de carga de resinas compostas convencionais e tipo *flow* na transmissão da luz do aparelho fotopolimerizador através da massa resinosa. No estudo, foi analisado a influência da quantidade e tamanho de partículas de carga por volume na massa resinosa variando de 60% a 89% composto por partículas nanométricas e micrométricas. As amostras foram irradiadas por 10 segundos, 20 segundos e 40 segundos. Foi observado que um aumento na quantidade por volume de partículas de carga na massa resinosa diminuiu a transmissão de luz através das resinas testadas, bem como partículas maiores também diminuíram a transmissão de luz, indicando que uma menor concentração de partículas (60%) e em menores tamanhos (nanométricas) podem resultar em melhores graus de conversão. Também foi observado melhores propriedades de conversão e propriedade mecânicas nos grupos polimerizados por 40 segundos. Esses achados corroboram com os achados desta pesquisa, na qual a resina nanoparticulada Supreme Flowable Restorative® com menor quantidade de partícula de carga por volume (46%) apresentou melhores graus de conversão, principalmente quando polimerizada por 40 segundos (3M/1000.40).

Peutzfeldt e Asmussen (2005) examinaram o grau de conversão de monômeros e as propriedades mecânicas, comparando amostras de uma resina composta submetidas a três

densidades energéticas diferentes (4 J/cm², 8 J/cm² e 16 J/cm²). Eles observaram que tanto a quantidade do grau de conversão, quanto as propriedades mecânicas, aumentaram conforme a densidade energética aplicada aumentava. Esses achados estão alinhados com outros estudos da literatura (Emami; Söderholm, 2003; Halvorson; Erickson; Davidson, 2002). Um estudo que avaliou o grau de conversão e outras propriedades de resinas compostas concluiu que ao utilizar doses de densidade energética de 20 J/cm², ao aumentar o tempo de exposição e diminuir a potência do fotopolimerizador, foi possível obter melhores resultados (Jain et al., 2020). Como visto anteriormente, os grupos submetidos a fotopolimerização por 40 segundos (VOCO/1000.40, FGM/1000.40 e 3M/1000.40) tiveram melhores desempenhos mecânicos e de grau de conversão.

As diferenças nos resultados do grau de conversão podem ser explicadas pela composição da matriz orgânica, pelas diferentes quantidades de partículas de carga e os tamanhos dessas partículas e os diferentes tipos de partículas utilizados. Apesar da composição orgânica das resinas testadas serem relativamente semelhantes, a fase inorgânica apresenta diferenças nos fatores anteriormente citados além das doses de energia emitidas pelos grupos de tempo de fotopolimerização serem diferentes.

Apesar das diferenças encontradas entre os grupos em relação às resinas e aos tempos de fotopolimerização de ao grau de conversão, todos os valores obtidos são tidos como clinicamente aceitáveis.

Por se tratar de um estudo do tipo *in vitro* os resultados devem ser interpretados com cautela aos serem transferidos para a prática clínica. Uma das limitações do estudo é que o método de avaliação da resistência ao cisalhamento utilizado foi estático, enquanto no ambiente bucal, os *attachments* estão submetidos a estresse cíclico, o que pode resultar em diferentes tipos de falhas. Além disso, diferentes tempos e métodos de envelhecimento de amostras podem influenciar nos resultados observados.

8 CONCLUSÃO

Dos compósitos e das condições desse experimento, pode-se concluir que:

- A resina nanoparticulada apresentou maior resistência ao cisalhamento, especialmente quando polimerizada por 40 segundos, quando comparada as resinas nanohíbrida e microhíbrida.
- Os tempos de polimerização de 40 segundos e 20 segundos, mesmo com redução da potência do aparelho fotopolimerizador (1000 mW/cm^2), aumentaram a resistência ao cisalhamento dos compósitos utilizados para confecção de *attachments* colados ao esmalte, quando comparado aos grupos de 03 e 06 segundos;
- Melhor grau de conversão foi observado para a resina nanoparticulada.
- O aumento do tempo de polimerização resultou em aumento no grau de conversão de todos os compósitos testados;
- Todas as resinas tiveram resultados satisfatórios para aplicação clínica tanto na força adesiva como no grau de conversão;
- O tamanho das partículas e a densidade de energia aplicada durante a fotopolimerização parece ter grande influência nas variáveis estudadas.

REFERÊNCIAS

- ABU-ARQUB, S.; AHMIDA, A.; GODOY, L. D. C.; KUO, C.; UPADHYAY, M.; YADAV, S. Insight into clear aligner therapy protocols and preferences among members of the American Association of Orthodontists in the United States and Canada. **The Angle Orthodontist**, v. 93, n. 4, p. 417-426, 2023.
- ADOBES-MARTIN, M.; MONTOYA-MORCILLO, M. L.; WU, A. Z.; GARCOVICH, D. Invisalign treatment from the patient perspective: a Twitter content analyses. **Journal of Clinical and Experimental Dentistry**, Spain, v. 13, n. 4, p. e376, 2021.
- ALMEIDA, L. F.; MARTINS, L. P.; MARTINS, R. P. Effects of reducing light-curing time of a high-power LED device on shear bond strength of brackets. **Journal of Orofacial Orthopedics-Fortschritte der Kieferorthopädie**, Germany, 79, n. 5, p. 352-358, 2018.
- ALSAUD, B. A.; HAJJAJ, M. S.; MASOUD, A. I.; NEEL, E. A. A.; ABUELENAIN, D. A.; LINJAWI, A. I. Bonding of clear aligner composite attachments to ceramic materials: an in vitro study. **Materials**, Basel, v. 15, n. 12, p. 41-45, 2022.
- ALSHAAFI, M. M. Factors affecting polymerization of resin-based composites: a literature review. **The Saudi Dental Journal**, Saudi Arabia, v. 29, n. 2, p. 48-58, 2017.
- ANDRZEJEWSKA, E. Photopolymerization kinetics of multifunctional monomer. **Progress in Polymer Science**, Kdlington, v. 26, n. 4, p. 605-665, 2001.
- ASMUSSEN, E.; PEUTZFELDT, A. Influence of selected components on crosslink density in polymer structures. **European Journal Oral Sciences**, Copenhagen, v. 109, n. 4, p. 282-285, 2001.
- BARREDA, G. J.; DZIEREWIANKO, E. A.; MUÑOZ, K. A.; PICCOLI, G. I. Surface wear of resin composites used for Invisalign® attachments. **Acta Odontologica Latinoamericana: AOL**, Buenos Aires, v. 30, n. 2, p. 90-95, 2017.
- BASTOS, N. A.; BITENCOURT, S. B.; MARTINS, E. A.; SOUZA, G. M. Review of nanotechnology applications in resin-based restorative materials. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, London, v. 33, n. 4, p. 567-582, 2021.
- BEOLCHI, R. S.; MOURA-NETTO, C.; PALO, R. M.; TORRES, C. R. G.; PELISSIER, B. Changes in irradiance and energy density in relation to different curing distances. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2015.
- BERZINS, D. W.; ROBERTS, H. W. Phase transformation changes in thermocycled nickel-titanium orthodontic wires. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 26, n. 7, p. 666-674, 2010.
- BISHARA, S. E.; OLSEN, M. E.; DAMON, P.; JAKOBSEN, J. R. Evaluation of a new light-cured orthodontic bonding adhesive. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, St. Louis, v. 114, n. 1, p. 80-87, 1998.
- BORDA, A. F.; GARFINKLE, J. S.; COVELL, D. A.; WANG, M.; DOYLE, L.; SEDGLEY,

- C. M. Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions. **The Angle Orthodontist**, Appleton, v. 90, n. 4, p. 485-490, 2020.
- BOWEN, R. L. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. **The Journal of the American Dental Association**, Chicago, v. 66, n. 1, p. 57-64, 1963.
- BOYD, R. L. Complex orthodontic treatment using a new protocol for the Invisalign appliance. **Journal of Clinical Orthodontics: JCO**, Hempstead, v. 41, n. 9, p. 525-523, 2007.
- BRAGA, R. R.; FERRACANE, J. L. Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. **Journal of Dental Research**, Chicago, v. 81, n. 2, p. 114-118, 2002.
- CAMPBELL, P. M.; JOHNSTON, W. M.; O'BRIEN, W. J. Light scattering and gloss of an experimental quartz-filled composite. **Journal of Dental Research**, Chicago, v. 65, n. 6, p. 892-894, 1986.
- CHEN, W.; QIAN, L.; QIAN, Y.; ZHANG, Z.; WEN, X. Comparative study of three composite materials in bonding attachments for clear aligners. **Orthodontics & Craniofacial Research**, Oxford, v. 24, n. 4, p. 520-527, 2021.
- COOK, W. D.; STANDISH, P. M. Cure of resin based restorative materials white light photopolymerized resins. **Australian Dental Journal**, North Sydney, v. 28, n. 5, p. 307-311, 1983.
- CRUZ, I. D. S.; TOMAZ, A. F. G.; MORENO, M. C.; ARAÚJO, R. M.; ALVES, A. C. M.; PEREIRA, H. S. G.; CALDAS, S. G. F. R. Clinically acceptable values of shear bond strength of orthodontic brackets bonded on enamel: an integrative review. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. e11110413927-e11110413927, 2021.
- CURTIS, A. R.; PALIN, W. M.; FLEMING, G. J. P.; SHORTALL, A. C. C.; MARQUIS, P. M. The mechanical properties of nanofilled resin-based composites: the impact of dry and wet cyclic pre-loading on bi-axial flexure strength. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 25, n. 2, p. 188-197, 2009.
- D'ALPINO, P. H.; SVIZERO, N. R.; PEREIRA, J. C.; RUEGGERBERG, F. A.; CARVALHO, R. M.; PASHLEY, D. H. Influence of light-curing sources on polymerization reaction kinetics of a restoration system. **American Journal of Dentistry**, San Antonio, v. 20, n. 1, p. 46-52, 2007.
- DARONCH, M.; RUEGGERBERG, F. A.; MOSS, L.; GOES, M. F. Clinically relevant issues related to preheating composites. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, London, v. 18, n. 6, p. 340-350, 2006.
- DA SILVA, E. M.; POSKUS, L. T.; GUIMARAES, J. G. A.; BARCELLOS, A. D. A. L.; FELLOWS, C. E. Influence of light polymerization modes on degree of conversion and crosslink density of dental composites. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 19, p. 1027-1032, 2008.

DASY, H.; DASY, A.; ASATRIAN, G.; RÓZSA, N.; LEE, H. F.; KWAK, J. H. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. **The Angle Orthodontist**, Appleton, v. 85, n. 6, p. 934-940, 2015.

ELFAKHRI, F.; ALKAHTANI, R.; LI, C.; KHALIQ, J. Influence of filler characteristics on the performance of dental composites: a comprehensive review. **Ceramics International**, v. 48, n. 19, p. 27280-27294, 2022.

EMAMI, N.; SÖDERHOLM, K. J. M. How light irradiance and curing time affect monomer conversion in light-cured resin composites. **European Journal of Oral Sciences**, Copenhagen, v. 111, n. 6, p. 536-542, 2003.

EMAMI, N.; SJÖDAHL, M.; SÖDERHOLM, K. J. M. How filler properties, filler fraction, sample thickness and light source affect light attenuation in particulate filled resin composites. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 21, n. 8, p. 721-730, 2005.

FERRACANE, J. L. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 1, n. 1, p. 11-14, 1985.

FERRACANE, J. L. Evaluation of leachable components from composites. **Journal of Oral Rehabilitation**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 441-452, 1994.

FERRACANE, J. L. Resin composite—state of the art. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 27, n. 1, p. 29-38, 2011.

FERRACANE, J. L.; CONDOR, J. R. Rate of elution of leachable components from composites. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 6, n. 4, p. 282-287, 1990.

FIDALGO-PEREIRA, R.; CARVALHO, Ó.; CATARINO, S. O.; HENRIQUES, B.; TORRES, O.; BRAEM, A.; SOUZA, J. C. M. Effect of inorganic fillers on the light transmission through traditional or flowable resin-matrix composites for restorative dentistry. **Clinical Oral Investigations**, Berlin, v. 27, n. 9, p. 5679-5693, 2023.

FUJITA, K.; IKEMI, T.; NISHIYAMA, N. Effects of particle size of silica filler on polymerization conversion in a light-curing resin composite. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 27, n. 11, p. 1079-1085, 2011.

GAGLIANONE, L. A.; LIMA, A. F.; ARAÚJO, L. S. N.; CAVALCANTI, A. N.; MARCHI, G. M. Influence of different shades and LED irradiance on the degree of conversion of composite resins. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 165-169, 2012.

GALE, M. S.; DARVELL, B. W. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. **Journal of Dentistry**, Bristol, v. 27, n. 2, p. 89-99, 1999.

GALVÃO, M. R.; CALDAS, S. G. F. R.; BAGNATO, V. S.; RASTELLI, A. N. S.; ANDRADE, M. F. Evaluation of degree of conversion and hardness of dental composites photo-activated with different light guide tips. **European Journal of Dentistry**, Ankara, v. 7, n. 1, p. 86, 2013.

GUEDES, F. P.; FERRONATO, E.; MARTINS, R. P. Protocolo clínico para instalação de attachments em casos tratados com alinhadores ortodônticos – descrição da técnica. **Orthodontic Science and Practice**, São José dos Pinhais, v. 12, n. 48, p. 102-112, 2019.

GUIRALDO, R. D.; CONSANI, S.; CONSANI, R. L. X.; BERGER, S. B.; MENDES, W. B.; SINHORETI, M. A. C. Light energy transmission through composite influenced by material shades. **The Bulletin of Tokyo Dental College**, Tokyo, v. 50, n. 4, p. 183-190, 2009.

GRITSCH, K.; SOUVANNASOT, S.; SCHEMBRI, C.; FARGE, P.; GROSGOGEAT, B. Influence of light energy and power density on the microhardness of two nanohybrid composites. **European Journal of Oral Sciences**, Copenhagen, v. 116, n. 1, p. 77-82, 2008.

HALVORSON, R. H.; ERICKSON, R. L.; DAVIDSON, C. L. Energy dependent polymerization of resin-based composite. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 18, n. 6, p. 463–469, 2002.

ILIE, N.; HICKEL, R. Resin composite restorative materials. **Australian Dental Journal**, [S. l.], v. 56, n. SUPPL. 1, p. 59–66, 2011. DOI: 10.1111/j.1834-7819.2010.01296.x.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TS 11405:2015**: dentistry: testing of adhesion to tooth structure. Geneva: ISO, 2015.

ISMAIL, A. M.; BOURAUUEL, C.; ELBANNA, A.; ELDIN, T. S. Micro versus macro shear bond strength testing of dentin-composite interface using chisel and wireloop loading techniques. **Dentistry Journal**, Basel, v. 9, n. 12, p. 140, 2021.

JAKUBIAK, J.; ALLONAS, X.; FOUASSIER, J. P.; SIONKOWSKA, A.; ANDRZEJEWSKA, E.; LINDEN, L. Å.; RABEK, J. F. Camphorquinone–amines photoinitiating systems for the initiation of free radical polymerization. **Polymer**, v. 44, n. 18, p. 5219-5226, 2003.

JAIN, L.; MEHTA, D.; MEENA, N.; GUPTA, R. Influence of light energy density, composite type, composite thickness, and postcuring phase on degree of conversion of bulk-fill composites. **Contemporary Clinical Dentistry**, Mumbai, v. 9, p. S147-S152, 2018. Supplement 1.

JOHNSEN, G. F.; TAXT-LAMOLLE, S. F.; HAUGEN, H. J. Wear model simulating clinical abrasion on composite filling materials. **Dental Materials Journal**, Tokyo, v. 30, n. 5, p. 739-748, 2011.

KNOLL, M.; GWINNETT, A. J.; WOLFF, M. S. Shear strength of brackets bonded to anterior and posterior teeth. **American Journal of Orthodontics**, St. Louis, v. 89, n. 6, p. 476-479, 1986.

KUO, E.; MILLER, R. J. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, St. Louis, v. 123, n. 5, p. 578-581, 2003.

LIU, Y.; HU, W. Force changes associated with different intrusion strategies for deep-bite correction by clear aligners. **Angle Orthodontist**, Appleton, v. 88, n. 6, p. 771-778, 2018.

LLERA-ROMERO, A. S.; ADOBES-MARTÍN, M.; IRANZO-CORTÉS, J. E.; MONTIEL-COMPANY, J. M.; GARCOVICH, D. Periodontal health status, oral microbiome, white-spot lesions and oral health related to quality of life-clear aligners versus fixed appliances: a systematic review, meta-analysis and meta-regression. **Korean Journal of Orthodontics**, Seoul, v. 53, n. 6, p. 374-392, 2023.

MAI, S.; ZANG, Q.; LIAO, M.; MA, X.; ZHONG, Y. Recent advances in direct adhesive restoration resin-based dental materials with remineralizing agents. **Frontiers in Dental Medicine**, Seattle, v. 3, p. 868651, 2022.

MANTOVANI, E.; CASTROFLORIO, E.; ROSSINI, G.; GARINO, F.; CUGLIARI, G.; DEREGIBUS, A.; CASTROFLORIO, T. Scanning electron microscopy analysis of aligner fitting on anchorage attachments. **Journal of Orofacial Orthopedics**, München, v. 80, n. 2, p. 79-87, 2019.

MOMTAZ, P. The effect of attachment placement and location on rotational control of conical teeth using clear aligner therapy. **Journal of Aligner Orthodontics**, Barcelona, v. 1, n. 1, p. 29-36, 2016.

MORAES, L. G. P.; ROCHA, R.Q S. F.; MENEGAZZO, L. M.; ARAÚJO, E. B.; YUKIMITU, K.; MORAES, J. C. S. Infrared spectroscopy: a tool for determination of the degree of conversion in dental composites. **Journal of Applied Oral Science**, Bauru, v. 16, n. 2, p. 145-149, 2008.

PAVIA, D. L., LAMPMAN, G. M., KRIZ, G. S., & VYVYAN, J. R. Introduction to spectroscopy. **Cengage Learning**, 2015.

PEUTZFELDT, A. Resin composites in dentistry; the monomer systems. **European Journal of Oral Sciences**, Copenhagen, v. 105, n. 2, p. 97-116, 1997.

PEUTZFELDT, A.; ASMUSSEN, E. Resin composite properties and energy density of light cure. **Journal of Dental Research**, Chicago, v. 84, n. 7, p. 659-662, 2005.

RASTELLI, A. N. S.; JACOMASSI, D. P.; BAGNATO, V. S. Degree of conversion and temperature increase of a composite resin light cured with an argon laser and blue LED. **Laser Physics**, Russia, v. 18, n. 12, p. 1570-1575, 2008.

REYNOLDS, I. R. A review of direct orthodontic bonding. **British Journal of Orthodontics**, v. 2, n. 3, p. 171-178, 1975.

ROSSOUW, P. E. A historical overview of the development of the acid-etch bonding system in orthodontics. **Seminars in Orthodontics**, United States, v. 16, n. 1, p. 2-23, 2010.

ROSVALL, M. D.; FIELDS, H. W.; ZIUCHKOVSKI, J.; ROSENSTIEL, S. F.; JOHNSTON, W. M. Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, St. Louis, v. 135, n. 3, p. 276. e1-12, 2009.

SANTOS, L. A.; TURBINO, M. L.; YOSSEF, M. N.; MATSON, E. Microdureza de resina composta: efeito de aparelhos e tempos de polimerização em diferentes profundidades.

Pesquisa Odontológica Brasileira, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 65-70, 2000.

SELIG, D.; HAENEL, T.; HAUSNEROVÁ, B.; MOEGINGER, B.; LABRIE, D.; SULLIVAN, B.; PRICE, R. B. Examining exposure reciprocity in a resin based composite using high irradiance levels and real-time degree of conversion values. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 31, n. 5, p. 583-593, 2015.

SHAH, P. K.; STANSBURY, J. W. Role of filler and functional group conversion in the evolution of properties in polymeric dental restoratives. **Dental Materials**, Copenhagen, v. 30, n. 5, p. 586-593, 2014.

SHIMOKAWA, C.; TURBINO, M. L.; GIANNINI, M.; BRAGA, R. R.; PRICE, R. B. Effect of curing light and exposure time on the polymerization of bulk-fill resin-based composites in molar teeth. **Operative Dentistry**, Seattle, v. 45, n. 3, p. E141-E155, 2020.

SHINKAI, K.; TAIRA, Y.; SUZUKI, S.; KAWASHIMA, S.; SUZUKI, M. Effect of filler size and filler loading on wear of experimental flowable resin composites. **Journal of Applied Oral Science**, São Paulo, v. 26, p. e20160652, 2018.

SHORTALL, A. C. How light source and product shade influence cure depth for a contemporary composite. **Journal of Oral Rehabilitation**, Oxford, v. 32, n. 12, p. 906-911, 2005.

SIDERIDOU, I.; TSERKI, V.; PAPANASTASIOU, G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. **Biomaterials**, Netherlands, v. 23, n. 8, p. 1819-1829, 2002.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000.

SIRISHA, K.; RAMBABU, T.; SHANKAR, Y. R.; RAVIKUMAR, P. Validity of bond strength tests: a critical review - Part I. **Journal of Conservative Dentistry and Endodontics**, India, v. 17, n. 5, p. 420-426, 2014.

SOBRINHO, L. C.; GOES, M. F.; CONSANI, S.; SINHORETI, M. A. C.; KNOWLES, J. C. Correlation between light intensity and exposure time on the hardness of composite resin. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, London, v. 11, n. 6, p. 361-364, 2000.

STAHL, F.; ASHWORTH, S. H.; JANDT, K. D.; MILLS, R. W. Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. **Biomaterials**, Netherlands, v. 21, n. 13, p. 1379-1385, 2000.

STANSBURY, J. W. Curing dental resins and composites by photopolymerization. **Journal Esthetic Dentistry**, v. 12, p. 300-308, 2000.

TAMER, İ.; ÖZTAŞ, E.; MARŞAN, G. Orthodontic treatment with clear aligners and the scientific reality behind their marketing: a literature review. **Turkish Journal of**

Orthodontics, İstanbul, v. 32, n. 4, p. 241-246, 2019.

TANIMOTO, Y.; KITAGAWA, T.; AIDA, M.; NISHIYAMA, N. Experimental and computational approach for evaluating the mechanical characteristics of dental composite resins with various filler sizes. **Acta Biomaterialia**, Kidlington, v. 2, n. 6, p. 633-639, 2006.

TURSSI, C. P.; FERRACANE, J. L.; VOGEL, K. Filler features and their effects on wear and degree of conversion of particulate dental resin composites. **Biomaterials**, Amsterdam, v. 26, n. 24, p. 4932-4937, 2005.

WATTS, D. C. Light-curing dental resin-based composites: how it works and how you can make it work. **Frontiers in Dental Medicine**, v. 4, p. 1108316, 2023.

YAOSEN, C.; MOHAMED, A. M.; JINBO, W.; ZIWEI, Z.; AL-BALAA, M.; YAN, Y. Risk factors of composite attachment loss in orthodontic patients during orthodontic clear aligner therapy: a prospective study. **BioMed Research International**, New York, v. 2021, n. 1, p. 6620377, 2021.

YAP, A. U.; WONG, N. Y.; SIOW, K. S. Composite cure and shrinkage associated with high intensity curing light. **Operative Dentistry University of Washington**, Seattle, v. 28, n. 4, p. 357-364, 2003.

ZHOU, X.; HUANG, X.; LI, M.; PENG, X.; WANG, S.; ZHOU, X.; CHENG, L. Development and status of resin composite as dental restorative materials. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 44, p. 48180, 2019.

ZIUCHKOVSKI, J. P.; FIELDS, H. W.; JOHNSTON, W. M.; LINDSEY, D. T. Assessment of perceived orthodontic appliance attractiveness. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, United States, v. 133, n. 4, p. S68-S78, 2008.