



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

LARISSA AMARAL DE SOUZA

**BRAQUETES CERÂMICOS IMPRESSOS 3D:
ensaio biomecânico da resistência ao cisalhamento**

LARISSA AMARAL DE SOUZA

**BRAQUETES CERÂMICOS IMPRESSOS 3D:
ensaio biomecânico da resistência ao cisalhamento**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA E TECNOLOGIA APLICADA À ODONTOLOGIA.

Área: Inovação tecnológica multidisciplinar com ênfase em odontologia. Linha de pesquisa: Inovação tecnológica

Orientador: Prof. Dr. Miguel Angel Castillo Salgado

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Amaral Tupinambá

São José dos Campos

2022

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2022]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

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

Souza, Larissa Amaral de
Braquetes cerâmicos impressos 3D: ensaio biomecânico da resistência ao cisalhamento
/ Larissa Amaral de Souza. - São José dos Campos : [s.n.], 2022.
56 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Aplicada à Odontologia - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2022.
Orientador: Miguel Angel Castillo Salgado
Coorientador: Rogério Amaral Tupinambá

1. Braquetes ortodônticos. 2. Impressão tridimensional. 3. Resistência ao cisalhamento. I. Salgado, Miguel Angel Castillo, orient. II. Tupinambá, Rogério Amaral, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Miguel Angel Castillo Salgado (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Jorge Kennety Silva Formiga

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Departamento de Engenharia Ambiental

Campus de São José dos Campos

Profa. Dra. Ana Christina Claro Neves

Universidade do Vale do Paraíba (Univap)

Departamento de Odontologia

Campus de São José dos Campos

São José dos Campos, 24 de agosto de 2022.

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Shirley e José Luiz, e ao
meu marido Ronaldo por todo apoio,
incentivo e encorajamento e
companheirismo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, pela oportunidade e capacidade de concluir este trabalho.

Agradeço ao Professor Dr. Miguel Angel Castillo Salgado que, com muito carinho e paciência, me orientou não só neste trabalho, mas ao longo destes dois anos de mestrado.

Agradeço ao Professor Rogério Amaral Tupinambá pela coorientação neste trabalho. Muito obrigada por toda ajuda.

Agradeço ao Professor Dr. Celestino Nóbrega pela parceria neste projeto, sem você, este não seria possível.

Agradeço a todo corpo docente do curso pelo conhecimento e experiência compartilhados.

Agradeço à Ortogeo, empresa parceira, que me acolheu durante todo meu estágio de docência contribuindo assim para meu crescimento profissional.

As empresas 3M *Unitek* e *LightForce System* por patrocinarem minha pesquisa.

Agradeço a todos os colegas de curso que de forma direta ou indireta contribuíram para que juntos chegássemos até aqui.

Por fim, a todos que de alguma forma participaram deste momento e colaboraram para que este trabalho fosse concluído com sucesso, o meu reconhecimento e agradecimento.

“Você comerá do fruto do seu trabalho, e será feliz e próspero.”

Salmos 128:2

RESUMO

Souza LA. Braquetes cerâmicos impressos 3D: ensaio biomecânico da resistência ao cisalhamento [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2022.

Objetivo: Avaliar, por meio de um ensaio biomecânico, a resistência ao cisalhamento dos braquetes cerâmicos confeccionados em impressora 3D. **Metodologia:** Foram testados três tipos distintos de braquetes: Braquetes cerâmicos LightForce *Clear*® - 3D - *LFO System*®, (Cambridge, Massac – EUA) (n=10), neste trabalho denominado como grupo LFC, braquetes cerâmicos LightForce*White*® - 3D – *LFO System*® - (Cambridge, Massac – EUA) (n=10), neste trabalho denominado como grupo LFW, e braquetes cerâmicos Clarity® da 3M® – UNITEK (Monrovia, Califórnia – EUA) (n=10), neste trabalho denominado como grupo C. Os braquetes do grupo C foram utilizados como controle. Foram colados em esmalte bovino, fixados em suportes para realização de teste em máquina universal de cisalhamento com acessórios de garra para suporte. Foi aplicada uma carga inciso-apical sobre o braquete com célula de carga de 50kgf e velocidade de deslocamento de 1 mm/min até o surgimento de falha na interface dente-braquete. O valor de força de pico registrado foi considerado como a força de cisalhamento (N) necessária para romper a união dente-suporte. A resistência ao cisalhamento foi obtida, em MPa, dividindo a carga de ruptura, em Newtons, pela área da superfície em mm². A análise da fratura foi feita com aumento de 15x utilizando microscópio estereoscópio binocular *Discovery V20* - Carl Zeiss® (Oberkochen, Alemanha). **Análise estatística:** Foi realizada análise de variância utilizando teste ANOVA. O teste Tukey foi aplicado para determinar quaisquer diferenças significativas para valores de desempenho entre os grupos. **Resultados:** Os valores médios e desvio padrão obtidos no ensaio de resistência ao cisalhamento (Mpa) nos três grupos de braquetes foram: 12,00 ± 5,26 para C, 16,45 ± 3,57 para LFC e 14,58 ± 5,04 para LFW. Não houve diferença estatística na resistência ao cisalhamento de nenhum dos grupos testados, os grupos LFC e LFW se mostraram semelhantes ao grupo C (controle). **Conclusão:** Os braquetes cerâmicos confeccionados em impressora 3D apresentaram resultados satisfatórios de SBS quando comparados ao grupo controle. Todos os grupos apresentaram fratura adesiva semelhante demonstrando boas retenções em suas bases.

Palavras-chave: braquetes ortodônticos; impressão tridimensional; resistência ao cisalhamento.

ABSTRACT

Souza LA. 3D printed ceramic brackets: biomechanical test: shear bond strength [dissertation]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2022.

Objective: to evaluate the shear strength of ceramic brackets produced in a 3D printer by a biomechanical test. **Methodology:** Three different types of brackets were tested: LightForce Clear® ceramic brackets - 3D - LFO System®, (Cambridge, Massac - USA) (n=10), referred to as the LFC group in this paper, LightForceWhite® ceramic brackets - 3D - LFO System® - (Cambridge, Massac - USA) (n=10), referred to as the LFW group in this paper, and Clarity® ceramic brackets from 3M® - UNITEK (Monrovia, California - USA) (n=10), referred to as Group C in this paper. Group C brackets were used as controls. They were bonded to bovine enamel and attached to holders for testing in a universal machine with shear claw accessories. The bracket was loaded with a load cell of 50 kgf and a displacement speed of 1 mm/min until failure occurred at the tooth-bracket interface. The peak force recorded was considered to be the shear force (N) required to break the tooth-bracket junction. The shear strength in MPa was determined by dividing the fracture load in Newtons by the area in mm². Fracture analysis was performed at 15x magnification using a Discovery V20 binocular stereoscopic microscope - Carl Zeiss® (Oberkochen, Germany). **Statistical analysis:** Analysis of variance was performed using ANOVA test. The Tukey test was applied to determine any significant differences for performance values between groups. **Results:** The mean values and standard deviation obtained in the shear strength test (Mpa) in the three groups of brackets were: 12.00 ± 5.26 for C, 16.45 ± 3.57 for LFC and 14.58 ± 5.04 for LFW. There was no statistical difference in the shear strength of any of the groups tested, the LFC and LFW groups were similar to group C (control). **Conclusion:** Ceramic brackets printed on a 3D printer showed satisfactory SBS results when compared to the control group. All groups presented adhesive fracture demonstrating good retention at their bases.

Keywords: orthodontic brackets; three-dimensional printing; shear bond strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Braquete representante dos grupos estudados.....	23
Figura 2 – Representação do dente bovino posicionado no tubo de PVC com resina acrílica.....	24
Figura 3 – Realização da profilaxia.....	25
Figura 4 – Condicionamento do esmalte.....	25
Figura 5 – Aplicação do Adesivo ortodôntico.....	26
Figura 6 – Colagem e posicionamento dos acessórios.....	26
Figura 7 – Corpo de prova de cada um dos grupos estudados.....	27
Figura 8 – Execução do teste.....	28
Figura 9 – Imagens da base dos braquetes para avaliação do ARI observadas no estereoscópio (15x).....	29
Figura 10 – Gráfico representando os valores médios da resistência ao cisalhamento (Mpa) entre os diferentes grupos estudados.....	33
Figura 11 – Gráfico representando a análise de variância (ANOVA).....	34
Figura 12 – Gráfico representando o teste Tukey na comparação dos grupos estudados	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos grupos testados.....	22
Quadro 2 – Escore referente ao tipo de fratura e ao adesivo remanescente na superfície de colagem.....	30
Quadro 3 – Valores resultantes da força de cisalhamento e resistência ao cisalhamento dos braquetes do grupo C	31
Quadro 4 – Valores resultantes da força de cisalhamento e resistência ao cisalhamento dos braquetes do grupo LFC.....	31
Quadro 5 – Valores resultantes da força de cisalhamento e resistência ao cisalhamento dos braquetes do grupo LFW.....	32
Quadro 6 – Médias, desvio padrão e análise de variância (F) da força (N) dos três grupos estudados.....	32
Quadro 7 – Médias, desvio padrão e análise de variância (F) da resistência ao cisalhamento (Mpa) dos três grupos estudados	33
Quadro 8 – Resultados da avaliação da fratura após cisalhamento, em cada um dos grupos estudados.....	35

LISTA DE AREVIATURAS E SIGLAS

AM	Addictive manufacture
C	Clarity
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
LFC	LightForce Clear
LFW	LightForce White
SBS	Shear Bond Strength
UR	Upper Right

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Histórico.....	15
2.2 Braquetes cerâmicos.....	16
2.3 Era digital e Impressão 3D.....	17
2.4 Resistência ao cisalhamento.....	18
2.5 Avaliação do Índice de adesivo remanescente (ARI).....	19
3 PROPOSIÇÃO.....	21
4 MATERIAL E MÉTODO.....	22
4.1 Materiais.....	22
4.1.1 Obtenção e seleção dos dentes.....	23
4.1.2 Confeccção dos corpos de prova.....	23
4.2 Métodos.....	24
4.2.1 Procedimento de execução.....	24
4.2.2 Parâmetros de Estudo.....	27
4.2.2.1 Resistência ao Cisalhamento.....	27
4.2.2.2 Avaliação do Índice de adesivo remanescente (ARI).....	28
4.3 Análise e tratamento de dados.....	29
5 RESULTADOS.....	31
5.1 Força e resistência ao cisalhamento.....	31
5.2 Avaliação do Índice de adesivo remanescente (ARI).....	35
6 DISCUSSÃO.....	36
6.1 Braquete cerâmico confeccionados em impressoras 3D.....	36
6.2 Resistência ao cisalhamento.....	39
6.3 Avaliação do Índice de adesivo remanescente (ARI).....	41
7 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44
APÊNDICE	50
ANEXOS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros braquetes criados com o objetivo de corrigir a posição dentária utilizavam a bandagem total dos dentes o que acarretava em contratempos práticos e problemas estéticos (Proffit, 2007).

Após estudos de Newman, em 1965, os braquetes puderam ser colados na superfície do esmalte dentário utilizando a técnica de Buonocore (1955) para colagem de compósitos resinosos (Correr Sobrinho et al., 2002; Pithon et al., 2008).

Com o avanço da técnica de colagem, os dentes e tecidos adjacentes passaram a sofrer menos danos e a higiene ficou mais facilitada, mas o material de confecção dos braquetes ainda eram ligas metálicas que apareciam destacados na superfície do esmalte e assim afetam a estética (Cacciafesta et al., 1998; Oliveira et al., 2007).

Ao longo dos anos, a estética tornou-se extremamente relevante não apenas no resultado final, mas em todas as etapas do tratamento ortodôntico (Melo et al., 2015).

Para atender as expectativas estéticas que vinham principalmente do público adulto, surgiram, na década de 70, os braquetes estéticos compostos por polímeros denominados Policarbonato. Porém ele não só não atingiu as expectativas estéticas devido a sua falta de translucidez, como também não apresentava boas propriedades físicas, e entre as suas desvantagens destacam-se a pigmentação no decorrer do tratamento, ocasionando instabilidade de cor devido à capacidade de absorção de água, deformação estrutural, alto coeficiente de fricção, baixa força de adesão, dentre outras (Sobreira et al., 2007).

Na década de 1980, braquetes cerâmicos foram introduzidos no mercado como uma alternativa esteticamente mais agradável aos braquetes metálicos (Birnie, 1990).

Braquetes cerâmicos podem ser fabricados em dois tipos de composição: a monocristalina, uma massa fundida em alta temperatura formando um único cristal de óxido de alumínio resultando na fabricação de um único braquete. Sua principal vantagem é a eliminação de possíveis impurezas ou imperfeições, favorecendo sua estética através da claridade óptica; e a policristalina, que se constitui de cristais de óxido de alumínio fusionados em altas temperaturas, permitindo a moldagem de vários braquetes simultaneamente. O primeiro apresenta um custo de fabricação mais elevado enquanto o segundo tem uma operação de menor custo, pode-se produzir

grandes quantidades, porém, pode gerar imperfeições estruturais (Swartz et al., 1988; Maltagliati et al., 2006).

A era digital trouxe ainda mais avanços para área de saúde incluindo a área odontológica. Hoje, é possível substituir moldagens tradicionais por escaneamentos digitais, e onde tínhamos braquetes cerâmicos industrializados fundidos em fornos, com tratamentos ortodônticos que utilizavam apenas prescrições criadas a partir de estudos em um grupo de indivíduos, gerando valores médios, abre-se espaço para braquetes estéticos, com prescrição individualizada, impressos em impressora tridimensional (Gracco, 2011).

A impressão 3D é uma área da engenharia de manufatura que tem como característica a construção, a partir de um modelo virtual, de peças por deposição automática, camada-a-camada, sob controle de computador. A construção em camadas é a característica principal e de onde derivam suas vantagens em relação às tecnologias convencionais de manufatura (Silva, Maia, 2014). Um braço importante dessa tecnologia é o chamado *bioprinting*, um dos campos da engenharia de tecidos, que tem a capacidade de projetar e fabricar dispositivos biomédicos complexos. Ou seja, é possível reconstruir órgãos complexos utilizando a microarquitetura 3D e andaimes para a diferenciação de células-tronco. É usada, por exemplo, em defeitos anatômicos no complexo craniomaxilofacial causados por cancro, trauma e defeitos congênitos (Ventola, 2014).

Entretanto, a colagem de braquetes cerâmicos à superfície do esmalte necessita de cuidados especiais, pois podem apresentar maior grau de falha quando comparado a braquetes metálicos. A resistência à tração e cisalhamento (*Shear bond strength - SBS*) é relevante, pois a perda e recolagem dos braquetes, especialmente os cerâmicos, prolongam o tempo da consulta e a duração do tratamento, além de aumentar as despesas com materiais e danos ao esmalte dentário (Delavarian et al., 2019).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico

Como Brito Júnior e Weber afirmou em 2006, Edward Hartley Angle, considerado o pai da ortodontia, em 1925 estabeleceu um conceito de ortodontia que perdura até hoje: um arco retangular preenchendo total ou parcialmente o interior também retangular de um braquete.

Sua primeira criação envolvia um parafuso regulador para expansão com bandas ajustáveis cimentadas aos dentes. Seguindo esse conceito, Angle inventou arcos contínuos cimentados que foram aperfeiçoados e adicionados tubos verticais, conexões e pinos para a colocação e remoção dos arcos nos dentes bandados sem a remoção das bandas. Já em 1926, patenteou os braquetes *Edgewise* (Matasa, 2000; Graber, 2000).

Newman, em meados da década de 60 introduziu o condicionamento ácido do esmalte associado à utilização de resinas epóxicas, permitindo a colagem direta de acessórios ortodônticos. Esse processo de evolução histórica resultou em uma situação na qual o Ortodontista poderia a partir de então escolher entre uma grande variedade de braquetes de diferentes tipos, materiais e fabricantes (Aguilar, 2018).

Depois de substituir as bandas por braquetes, a busca por um tratamento ortodôntico estético ou menos perceptível aos olhos humanos fez com que, em meados de 1970, fossem criados e colocados no mercado braquetes estéticos feitos de plástico, compostos por um polímero denominado policarbonato (Sobreira et al., 2007). Porém, os braquetes de policarbonato não atingiram as expectativas estéticas, pelo fato de não apresentarem boas propriedades ópticas (cor e estabilidade, translucidez e fluorescência) e também não atingiram as expectativas quanto às suas propriedades físicas, e entre suas desvantagens destacam-se a falta de translucidez, pigmentação no decorrer do tratamento, ocasionando instabilidade de cor devido à capacidade de absorção de água, deformação estrutural, alto coeficiente de fricção e baixa força de adesão (Sobreira et al., 2007; Lopes Filho et al., 2012).

Sendo assim, em meados de 1980, os braquetes cerâmicos foram introduzidos no

mercado como uma alternativa esteticamente mais agradável aos braquetes metálicos e mais estável que os de policarbonato do ponto de vista estrutural. Esses braquetes apresentam maior estabilidade de cor, sendo inertes aos fluidos orais e oferecem maior controle sobre a quantidade de torque transferida aos dentes (Birnie, 1990).

2.2 Braquetes cerâmicos

Os braquetes cerâmicos são compostos de óxido de alumínio (Al_2O_3) e podem ser encontrados com dois tipos de composição: alumina monocristalina e policristalina (Olsen et al., 1997).

A alumina monocristalina é uma massa fundida em alta temperatura formando um único cristal de óxido de alumínio resultando na fabricação de um único braquete. É comercializado com o nome de braquete de “Safira” e possui cristais individuais que são produzidos a partir de uma massa fundida de óxido de alumínio a temperaturas mais elevadas que $2100\text{ }^\circ\text{C}$ que é lentamente resfriada para permitir uma cristalização controlada, formando assim um cristal muito mais puro. Mesmo não apresentando fluorescência, após serem colados aos dentes e expostos à luz ultravioleta, os braquetes translúcidos apresentaram melhor comportamento quanto à aparência visual dos dentes por possuírem propriedades ópticas melhores, além de diminuir a possibilidade de propagação de fraturas através de áreas que contenham imperfeições ou impurezas (Karamouz et al., 1997; Lopes Filho et al., 2012).

Já a alumina policristalina, é também constituída de cristais de óxido de alumínio fusionados em altas temperaturas, porém, permite a moldagem de vários braquetes simultaneamente (Kieling et al., 2019). Composta de óxido de alumínio e um aglutinante, pode posteriormente ser moldada e aquecida a temperaturas acima de $1800\text{ }^\circ\text{C}$ para queimar o aglutinante e unir as partículas de óxido de alumínio. A desvantagem do processo de moldagem da cerâmica policristalina é a presença de imperfeições estruturais ao redor dos grãos, ou de impurezas que funcionariam como uma região susceptível à propagação de linhas de fratura quando o material está sob estresse (Swartz et al., 1988).

A principal diferença entre os dois tipos de braquetes cerâmicos é a clareza

óptica, sendo o monocristalino mais claro e mais translúcido. Outras diferenças encontradas são: a alumina monocristalina apresenta um custo de fabricação mais elevado; a alumina policristalina tem uma operação de baixo custo, pode ser produzida em grandes quantidades e é o tipo mais comum entre os comercializados, porém, pode apresentar imperfeições estruturais (Swartz et al., 1988; Maltaglia et al., 1981).

Os dois tipos de fabricação apresentam algumas características indesejáveis como sua alta fragilidade, maior atrito com os fios ortodônticos, possibilidade de causar desgastes em dentes antagonistas e danos ao esmalte durante sua remoção, além de possuírem estrutura mais volumosa que a dos braquetes metálicos (Ghafari, 1992).

2.3 Era digital e Impressão 3D

A inovação tecnológica está se expandindo cada vez mais na área da saúde, incluindo a odontologia. Hoje já fazem parte do dia-a-dia do cirurgião dentista as tomografias computadorizadas de feixe cônico (CBCT), fotografia tridimensional (3D), design auxiliado por computador e escaneamento digital (Yang et al., 2019).

A impressão 3D, também referida como manufatura aditiva ou fabricação de forma livre sólida, foi introduzida pela primeira vez durante a década de 1980 e surgiu como uma plataforma de tecnologia versátil para design assistido por computador (CAD), com a finalidade de servir as necessidades especializadas de modelagem e prototipagem (Ligon et al., 2017). Inicialmente apresentava um custo elevado e hoje com a expiração de muitas patentes de impressão 3D, incluindo estereolitografia, as impressoras 3D e seus produtos estão se tornando mais acessíveis do ponto de vista financeiro (Rahman et al., 2018).

Na ortodontia especificamente, um tratamento completo pode ser planejado com previsibilidade, fios podem ser dobrados roboticamente e aparelhos, como alinhadores e braquetes, podem ser criados, tudo isso com base em um fluxo de trabalho totalmente digital (Ligon et al., 2017).

Além da fresagem precisa e personalizada de aparelhos ortodônticos, a aplicação da tecnologia 3D permite que o profissional e o paciente utilizem o *software* de

planejamento de tratamento virtual para identificar melhor os objetivos do caso e visualizar os resultados do tratamento, permitindo assim, uma comunicação melhor entre o profissional e o paciente, gerando expectativas mais realistas do resultado do tratamento (Gracco et al., 2011; Mayhew et al., 2005).

Nesse sistema 3D, em uma primeira etapa, um *software* (CAD) é usado para criar um objeto virtual, que é então fatiado digitalmente. A fabricação (CAM) é normalmente realizada camada por camada, com espessuras de camada típicas variando de 15 a 500 μm (Ligon et al., 2017).

Krey et al., em 2016, foram promissores relatando a impressão de braquetes em policarbonato, mas revisando a literatura dos últimos 10 anos, nenhum relato foi encontrado a respeito de braquetes impressos em óxido de alumínio.

A impressão 3D é uma tecnologia que permite a produção de um objeto tridimensional individualizado com base em um material de escolha e um design específico e as novas oportunidades agora estão abrindo caminho para tratamentos personalizados para cada paciente (Nesic, 2020).

Dentre os benefícios do braquete impresso 3D, destaca-se a previsibilidade do tratamento, uma vez que ele é todo planejado em computador e tem a possibilidade de individualização de acordo com as necessidades do paciente, personalizando desde a sua base para uma adaptação única em cada dente, seu *slot* e sua prescrição, dando ao ortodontista a possibilidade de alcançar finalizações de tratamentos muito mais precisas (Krey et al., 2016), já que desde a invenção da prescrição de braquetes pré-ajustados criada por Andrews (1970), várias modificações foram criadas para minimizar as dobras de fio durante a finalização do tratamento e assim obter um acabamento melhor. No entanto, com poucas evidências clínicas para mostrar as vantagens de qualquer um dos sistemas de prescrições de braquetes, os ortodontistas são forçados a tomar decisões clínicas com pouca orientação científica.

2.4 Resistência ao cisalhamento

A força de união dos braquetes ortodônticos ao esmalte deve ser alta o suficiente para mantê-los no lugar durante o período de tratamento, resistindo às cargas oclusais

e mastigatórias. Por outro lado, não podem ser muito altas, pois aumenta o risco de fratura do esmalte no momento da descolagem (Ghafari, 1992).

Inicialmente a colagem dos acessórios cerâmicos era realizada com a aplicação de ácido fluorídrico e silano, mas essa técnica causava muitas fraturas do esmalte dental, então o tipo de retenção precisou ser mudado, transformando a retenção que antes era química, agora em uma retenção mecânica (Ahrari et. al, 2012). Para isso foram adicionadas ranhuras à base dos braquetes, assim como é feito nos braquetes metálicos, para que haja um imbricamento da peça com a resina resultando assim na retenção desejada (Behnam et al., 1990).

Diante do exposto, um estudo da resistência da união ao cisalhamento (SBS) é relevante, pois a perda e/ou descolagem e, a necessidade de recolagem dos braquetes, especialmente os braquetes cerâmicos, pode prolongar o tempo de atendimento e a duração do mesmo, além de aumentar as despesas com materiais e danos ao esmalte dentário (Delavarian et al., 2019).

2.5 Avaliação do Índice de adesivo remanescente (ARI)

Nos procedimentos de remoção de braquetes se produzem fraturas na interface de descolagem, assim Ramos (2003) classificou o tipo de falhas durante a remoção dos braquetes da seguinte maneira: 1- Fratura adesiva: Quando a fratura foi observada entre a resina e o esmalte. 2- Fratura Coesiva-Resina: Quando a fratura ocorreu entre o braquete e a resina de maneira que permanecesse aderida ao esmalte. 3- Fratura Coesiva-Esmalte: Quando a fratura se deu sobre a superfície dental removendo parte do esmalte. 4- Fratura Mista Coesiva Resina/Adesiva: Quando em um mesmo corpo de prova houve fratura entre o braquete e resina permanecendo entre a superfície dental e em outra parte a fratura se deu entre a resina e o esmalte. 5- Fratura Mista Coesiva Esmalte/ Adesiva: Quando em um mesmo corpo de prova houve remoção parcial da estrutura dental e em outra a fratura se deu entre a resina e o esmalte. 6- Fratura Mista Coesiva Resina/ Coesiva Esmalte: Quando em um mesmo corpo de prova parte da resina permaneceu sobre a superfície dental e em outra parte remoção parcial da estrutura dental.

Artun e Bergland, em 1984, utilizaram um modo diferente de classificação da falha dos acessórios, classificação essa que era representada por uma pontuação na qual o valor de referência 1 representa uma fratura de ligação na interface resina-esmalte (todo o adesivo permanece na superfície do braquete); 2 representa uma fratura de ligação predominantemente na interface resina-esmalte (mais da metade do adesivo permanece na superfície do braquete); o número 3 representa uma fratura de ligação predominantemente na interface braquete-resina (menos da metade do adesivo permanece na superfície do braquete); e por fim, o número 4 representa uma fratura de ligação na interface braquete-resina (nenhum adesivo permanece na superfície do braquete).

3 PROPOSIÇÃO

O propósito do presente trabalho foi:

- Avaliar a resistência ao cisalhamento dos braquetes cerâmicos individualizados confeccionados com impressão 3D.
- Verificar o tipo de fratura na relação adesiva esmalte-resina-braquete.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Materiais

As unidades experimentais deste trabalho *in vitro* foram braquetes de incisivo central superior direito (UR), colados em esmalte bovinos.

Os dentes bovinos foram fornecidos pelo proprietário do Açougue Multicortes Matadouros Frigorífico (Gustavo José Gomes Vieira ME), inscrito no CNPJ 11.966.591/0001-72. O parecer do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA Nº 02/2022) encontra-se no ANEXO B.

Os fatores de estudo foram os braquetes cerâmicos confeccionados em impressoras 3D comparados ao braquete cerâmico de referência no mercado e os parâmetros de resposta foram a resistência ao cisalhamento (MPa) e o tipo de fratura (ARI) do material adesivo.

Trinta corpos de provas foram confeccionados e distribuídos aleatoriamente para a constituição dos seguintes grupos experimentais (Figura 1):

Quadro 1 – Descrição dos grupos testados

Grupo	Marca	n
C	Clarity® 3M® – UNITEK (Monrovia, Califórnia – EUA)	10
LFC	LightForce Clear® LFO System® Cambridge, Massachusetts – EUA	10
LFW	LightForce White® LFO System® Cambridge, Massachusetts – EUA	10

Figura 1 – Braquete representante dos grupos estudados



Legenda: A) Grupo C (controle); B) Grupo LFC; C) Grupo LFW.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O grupo C foi considerado o grupo controle devido a sua prevalência e estabilidade por anos no mercado e ao grande número de vezes que foi citado em artigos revisados para este trabalho.

Os braquetes dos grupos LFC e LFW foram impressos, pela própria empresa *LightForce Clear®* utilizando canaleta com 0,022" x 0,028" e prescrição MBT (McLaughlin, Bennett e Trevis) para desta forma padronizar os corpos de prova, uma vez que o grupo C é comercializado com esses parâmetros.

4.1.1 Obtenção e seleção dos dentes

Os dentes selecionados foram incisivos bovinos, com face vestibular hígida. O armazenamento temporário dos dentes foi feito dentro de um recipiente de vidro tampado, seco e sob temperatura ambiente, até o dia da colagem dos braquetes na superfície do esmalte. Do momento da colagem até o momento do teste transcorreram aproximadamente 48 horas.

4.1.2 Confeção dos corpos de prova

A confecção dos corpos de prova seguiu da seguinte forma:

Foram utilizados tubos de PVC (Tigre, Cotia, SP), com 20mm de diâmetro interno e 25mm de altura, preenchidos com resina acrílica quimicamente ativada (VIPI Produtos Odontológicos, Pirassununga, SP). A porção radicular dos dentes foi inserida na resina uma a uma de modo que ficassem expostas apenas as coroas (Figura 2).

Figura 2 – Representação do dente bovino posicionado no tubo de PVC com resina acrílica



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Métodos

4.2.1 Procedimento de execução

O protocolo, conforme descrito abaixo, foi validado com base na ISO 29022: 2013, Odontologia - Adesão - Teste de resistência ao cisalhamento de borda entalhada que se encontra no ANEXO A.

O esmalte bovino foi submetido à profilaxia com pasta de pedra pomes (Pasom, São Paulo, SP) de granulação fina e água (Figura 3A), que foi realizada com taça de borracha (Microdont, São Paulo, SP) em contra-ângulo Kavo (Joinville, SC – Brasil) aproximadamente por 10 segundos. Em seguida os dentes foram lavados com jatos de água e ar por 10 segundos e secos com jatos de ar comprimido, isento de óleo,

pelo mesmo período de tempo (Figura 3B), de acordo procedimentos descritos por Correr Sobrinho et al. (2002).

Figura 3 – Realização da profilaxia



Legenda: A) profilaxia do substrato; B) lavagem do substrato.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O condicionamento do esmalte foi realizado com ácido fosfórico em gel a 37% (Biodinâmica, Ibiporã - PR) (Figura 4A), aplicado diretamente com a ponta descartável da seringa no centro da face vestibular, somente no local da colagem, durante 30 segundos (Figura 4B). Após o tempo de condicionamento, o esmalte foi lavado com spray de água com a seringa tríplice por 30 segundos e seco por mais 20 segundos com leves jatos de ar comprimido, até observar-se a aparência branca opaca da superfície condicionada (Rondelli, 2004).

Figura 4 – Condicionamento do esmalte

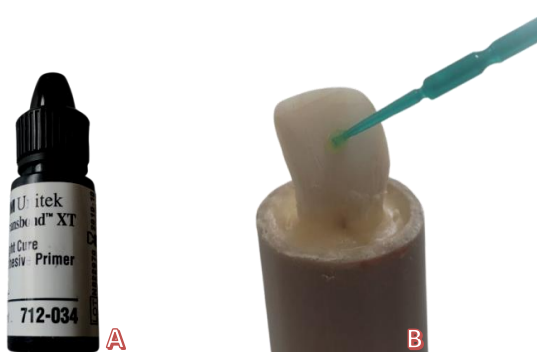


Legenda: A) ácido fosfórico 37%; B) Aplicação do gel para condicionamento do esmalte.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o condicionamento do esmalte foi aplicado adesivo *Light Cure Orthodontic Adhesive*® (3M/Unitek®, Monrovia, Califórnia, USA) com auxílio de um *Microbrush* (FGM – Joinville, SC, Brasil) e fotopolimerizado por 20 segundos (Figura 5 A e B).

Figura 5 – Aplicação do Adesivo ortodôntico



Legenda: A) Adesivo ortodôntico; B) Aplicação do sistema adesivo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A resina para colagem *Transbond*™ XT® (3M/Unitek®, Monrovia, Calif, USA) foi aplicada uniformemente por toda a base dos braquetes com auxílio de uma espátula de inserção (Figuras 6 A e B). O conjunto foi transportado em posição de colagem com a pinça de apreensão (Morelli®, Sorocaba, SP) e pressionado com suavidade contra a superfície vestibular do dente.

Figura 6 – Colagem e posicionamento dos acessórios



Legenda: A) Resina ortodôntica; B) Resina aplicada uniformemente na base do braquete; C) Posicionamento do braquete; D) Fotopolimerização.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O braquete foi posicionado de maneira a ficar paralelo a sua base, usando como guia um dispositivo, conforme ilustrado na figura 6C. Na sequência, a resina foi fotopolimerizada utilizando o fotopolimerizador *Poly Wireless* – Kavo (Joinville, SC – Brasil) por 40 segundos, 10 segundos em cada face (distal, mesial, gengival e oclusal) (Oesterle et al., 1995) (Figura 6D).

Após a colagem, os corpos de prova prontos (Figura 7) foram armazenados de forma seca, em recipientes plásticos tampados, por 48 horas, até o momento do teste.

Figura 7 – Corpo de prova de cada um dos grupos estudados



Legenda: A) Grupo C; B) Grupo LFC; C) Grupo LFW.

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.2 Parâmetros de estudo

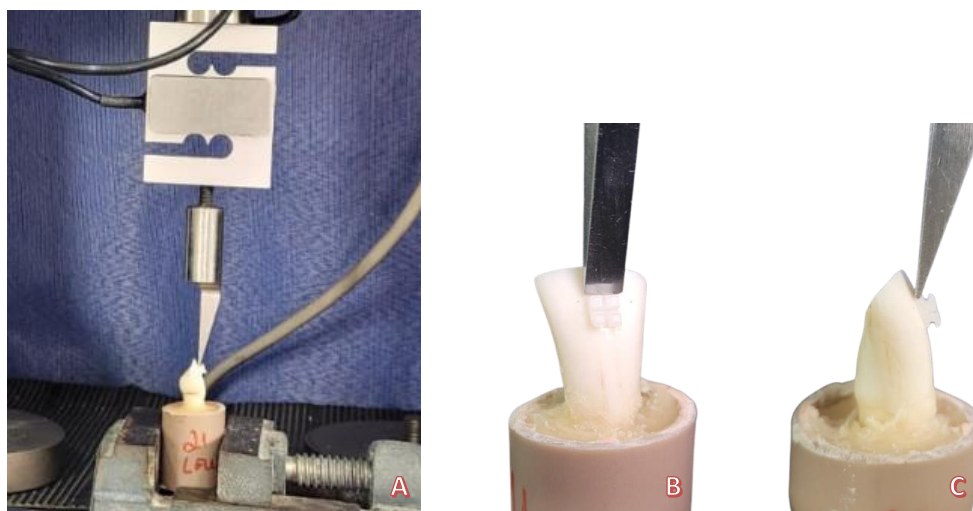
4.2.2.1 Resistência ao cisalhamento

O teste de resistência ao cisalhamento foi realizado na máquina universal de cisalhamento EMIC - DL1000 (São José dos Pinhais, Pr – Brasil)(Figura 8A). Os corpos de prova foram posicionados paralelamente, com auxílio de um torno, no curso de uma ponta em forma de cinzel apoiada de modo que ficasse centralizada sobre a borda oclusal do braquete e nivelada com o dente (Figura 8B e 8C).

Utilizando uma célula de carga de 50 kgf, o cinzel de aço inoxidável com 10 mm de largura e 1 mm de espessura depois de apoiado nos corpos-de-prova, desceu

imprimindo carga no sentido ocluso-gengival sobre o braquete, com velocidade constante de 1 mm/min e o movimento continuou até surgimento da falha na interface dente-braquete, ou seja, momento em que houvesse a ruptura entre as superfícies de adesão (Figura 8 A).

Figura 8 – Execução do teste



Legenda: A) corpo de prova posicionado na máquina de teste; B) Vista frontal do cinzel posicionado na interface braquete-esmalte; C) Vista lateral do cinzel posicionado na interface braquete esmalte.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O valor de força de pico registrado foi considerado como a força de cisalhamento (N) necessária para quebrar a união dente-braquete. A resistência ao cisalhamento foi obtida, em MPa, dividindo a força pela área de união (16mm²).

Em seguida, os corpos de prova foram avaliados com auxílio do microscópio estereoscópio binocular *Discovery V20* - Carl Zeiss® (Monções, SP – Brasil) com aumento de quinze vezes, para verificar e classificar os tipos de falhas existentes em cada grupo.

4.2.2.2 Avaliação do Índice de adesivo remanescente (ARI)

A avaliação do tipo de fratura do braquete identificando o índice de adesivo

remanescente (ARI) foi feita visualmente com aumento de 15x utilizando o microscópio estereoscópio binocular *Discovery V20 - Carl Zeiss®* (Oberkochen, Alemanha) (Figura 9).

Figura 9 –. Imagens da base dos braquetes para avaliação do ARI observados no estereoscópio (15x)



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Análise e tratamento de dados

A avaliação do ARI utilizou a escala de 4 pontos de Artun e Bergland. (Artun, J, Bergland, S, 1984) (Quadro 2), representando o tipo de fratura que ocorreu em cada teste.

Quadro 2 – Escore referente ao tipo de fratura e ao adesivo remanescente na superfície de colagem.

Pontuação	Interpretação
0	Fratura de ligação na interface adesivo-esmalte Todo o adesivo deixado na superfície do braquete.
1	Fratura de ligação predominantemente na interface adesivo-esmalte Mais da metade do adesivo deixado na superfície do braquete.
2	Fratura de ligação predominantemente na interface braquete-adesivo Menos da metade do adesivo deixado na superfície do braquete.
3	Fratura de ligação na interface braquete-adesivo Nenhum o adesivo deixado na superfície do braquete.

Fonte: Artun, e Bergland (1984).

Foi feita análise estatística dos resultados obtidos em cada um dos parâmetros especificados com auxílio do programa *Minitab 17*. Foram obtidas as médias e desvio padrão e feita análise de variância (ANOVA). O teste *Tukey* foi usado para determinar as diferenças entre os grupos. O nível de significância foi pré-determinado ao nível de confiança de 95% ($p < 0,05$).

5 RESULTADO

5.1 Força e Resistência ao Cisalhamento

Quadro 3 – Valores resultantes da força de cisalhamento e resistência ao cisalhamento dos braquetes do grupo C

Grupo C	Força (N)	Resistência (Mpa)
C1	Fraturou	
C2	145,06	9,066
C3	185,84	11,615
C4	237,84	14,865
C5	314,21	19,638
C6	73,84	4,615
C7	73,30	4,581
C8	253,71	15,856
C9	153,24	9,577
C10	256,95	16,050
Média	188,221	12,000
Desvio Padrão	84,209	5,262

Quadro 4 – Valores resultantes da força de cisalhamento e resistência ao cisalhamento dos braquetes do grupo LFC

Grupo LFC	Força (N)	Resistência (Mpa)
LFC1	321,99	20,124
LFC2	201,68	12,605
LFC3	Fraturou	
LFC4	295,44	18,46
LFC5	292,04	18,25
LFC6	Fraturou	
LFC7	Fraturou	
LFC8	241,37	15,085
LFC9	176,64	11,04
LFC10	314,19	19,636
Média	263,335	16,457
Desvio Padrão	57,272	3,578

Quadro 5 – Valores resultantes da força de cisalhamento e resistência ao cisalhamento dos braquetes do grupo LFW

Grupo LFW	Força (N)	Resistência (Mpa)
LFW1	233,55	14,596
LFW2	351,19	21,949
LFW3	343,19	21,449
LFW4	Fraturou	
LFW5	260,14	16,258
LFW6	129,23	8,076
LFW7	119,36	7,46
LFW8	225,09	14,068
LFW9	242,31	15,144
LFW10	196,31	12,269
Média	233,374	14,585
Desvio Padrão	80,641	5,040

O Quadro 6 relaciona os valores médios e desvio padrão da força ao cisalhamento mostrando valores maiores nos grupos LFC e LFW do que no grupo C (controle). Da mesma maneira o Quadro 7 mostra as médias e desvio padrão da resistência ao cisalhamento evidenciando resultados maiores nos grupos LFC e LFW do que no grupo C (controle) , ilustrados na Figura 10.

Quadro 6 – Médias, desvio padrão e análise de variância (F) da força (N) dos três grupos estudados

Grupo	n	Média	desvio padrão	mín - max
C	10	188,22	84,21	73,30 - 314,21
LFC	10	263,34	57,27	176,64 – 321,99
LFW	10	233,37	80,64	119,36 – 351,19
		F=3,86	p=0,033	

Quadro 7 – Médias, desvio padrão e análise de variância (F) resistência ao cisalhamento (Mpa) dos três grupos estudados

Grupo	n	Média	desvio padrão	mín - max
C	10	12,00	5,26	4,58 – 19,64
LFC	10	16,46	3,57	11,04 – 20,12
LFW	10	14,59	5,04	7,46 – 21,95
		F= 3,86	p= 0,033	

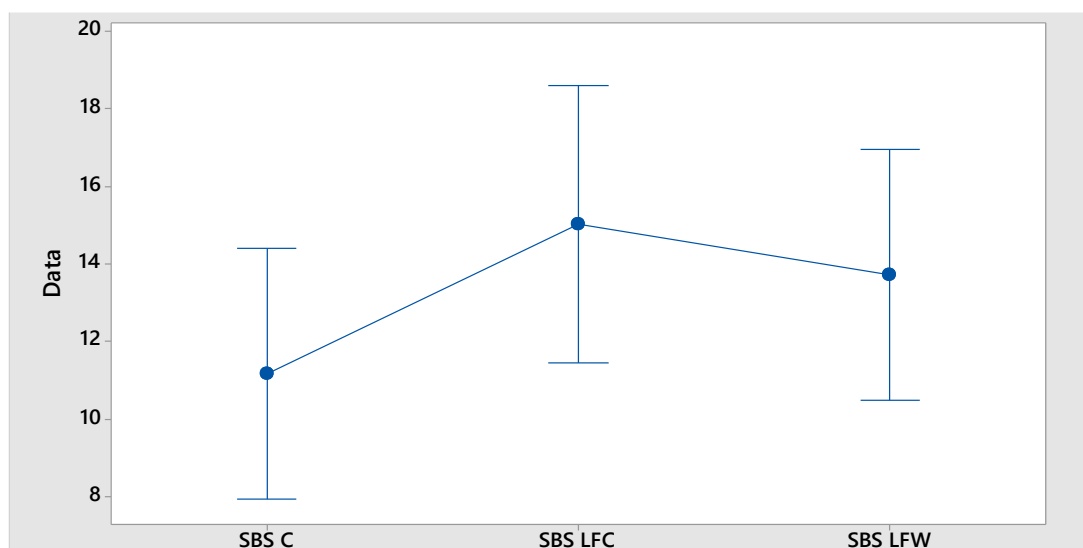
Figura 10 – Gráfico representando os valores médios da resistência ao cisalhamento (MPa) entre os diferentes grupos estudados



Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise de variância, referidas nos Quadros 6 e 7 (F-Value = 3,86 e p-Value = 0,033) e ilustrada na Figura 11 demonstrou que não houve diferenças estatística significantes nas variáveis de força e de resistência ao cisalhamento de nenhum dos grupos testados (Anexo C). Os grupos LFC e LFW foram semelhantes ao grupo C (controle).

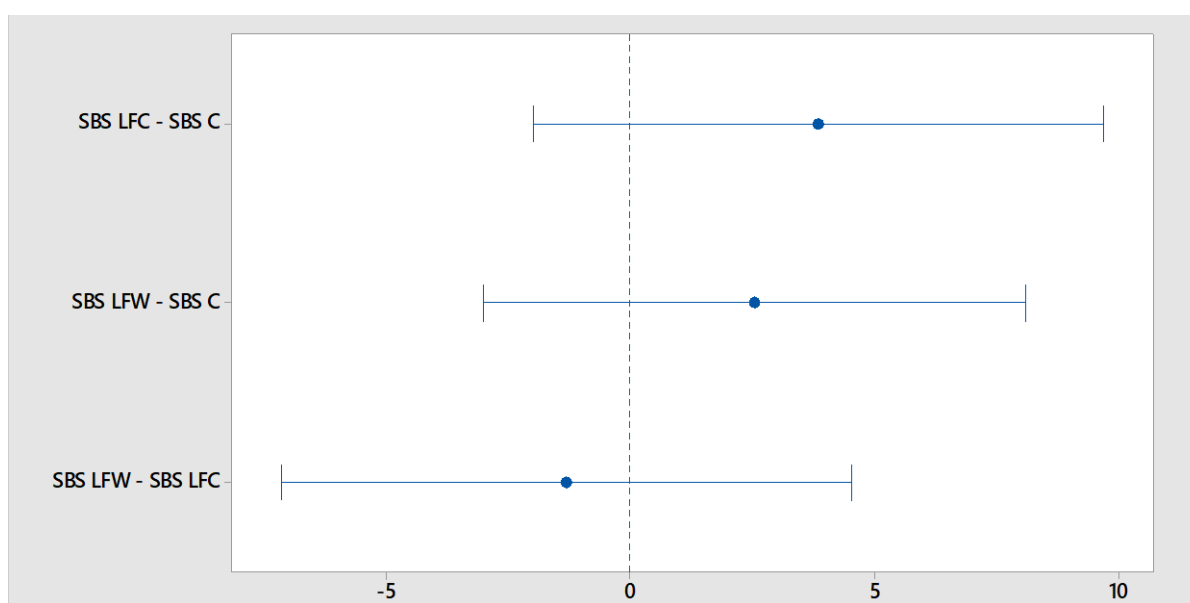
Figura 11 – Gráfico representando a análise de variância (ANOVA)



Fonte: Elaborada pelo autor.

O teste *Tukey* corroborou a análise de variância, demonstrando não haver diferenças estatísticas entre os três grupos (Figura 12).

Figura 12 – Gráfico representando o teste Tukey na comparação dos grupos estudados



Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2 Avaliação do Índice de adesivo remanescente (ARI)

Quadro 8 – Resultados da avaliação da fratura após cisalhamento, em cada um dos grupos estudados

Amostra	Pontuação			Local da fratura
	<i>Clarity</i> ®	<i>LFClear</i> ®	<i>LFWhite</i> ®	
1	Fraturou	1	1	Resina-Esmalte
2	1	1	1	Resina-Esmalte
3	1	Fraturou	Fraturou	Resina-Esmalte
4	0	1	1	Resina-Esmalte
5	1	1	1	Resina-Esmalte
6	1	Fraturou	1	Resina-Esmalte
7	1	Fraturou	1	Resina-Esmalte
8	1	1	1	Resina-Esmalte
9	0	1	1	Resina-Esmalte
10	1	1	1	Resina-Esmalte

Quanto à descolagem, o Quadro 8 resume os índices observados referentes ao adesivo remanescente após cisalhamento. Os grupos LFC e LFW apresentaram aspecto microscópico de descolagem semelhantes ao do grupo C, evidenciando as fraturas na relação com a superfície do esmalte, com uma pontuação predominante no escore 1 referente ao adesivo remanescente na superfície de colagem.

6 DISCUSSÃO

6.1 Braquetes cerâmicos confeccionados em impressora 3D

Desenvolvida na década de 1980, a tecnologia de impressão 3D, chamada inicialmente de tecnologia de protótipo rápido, tem sido bem aplicada em uma variedade de indústrias com diferentes técnicas e materiais de impressão (Fan et al., 2020).

Liaw e Guvendiren, em 2017, descreveram que a impressão 3D permite fabricação personalizada de materiais com base em *software* de desenho assistido por computador ou imagens obtidas de tomografia computadorizada e ressonâncias magnéticas. Segundo Nguyen et al. (2018) com a expiração de várias patentes de impressão, o custo diminuiu substancialmente e a odontologia já vem usufruindo desse fluxo digital em diversas áreas como na fresagem de coroas protéticas e próteses parciais fixas, por exemplo. Na especialidade da ortodontia não é diferente. Ela vem sendo invadida com novas tecnologias e o fluxo digital agora passa a fazer parte da realidade dos ortodontistas.

Al Mortadi et al., em 2012, estudaram as aplicações CAD/CAM/MA na fabricação de aparelhos odontológicos e citaram aplicativos tecnológicos que auxiliam no diagnóstico e planejamento de tratamento com alinhadores transparentes e aparelhos linguais. Além disso, Neisc (2020) afirmou que as ferramentas digitais analíticas disponíveis oferecem aquisição e documentação rápida e precisa da situação específica do paciente, em 3D, e com uma fácil transferência de dados digitais se permite o desenho de estruturas perfeitamente moldadas que podem ser personalizadas para cada paciente. Consideramos que a principal vantagem de todo esse sistema seja essa: a personalização clínica e otimização do tratamento.

O tratamento ortodôntico convencional é feito com braquetes pré-programados, confeccionados geralmente em metal ou cerâmica. Esses parâmetros pré-programados, os quais são conhecidos como prescrições ortodônticas, são baseados em valores médios populacionais determinados por seus criadores/fabricantes.

A fase do tratamento que corresponde a finalização ortodôntica, segundo Moraes et al. (2012), exige pequenas correções com o objetivo de se aproximar o máximo possível da oclusão normal, possibilitando saúde, estética, função e estabilidade. Isto sempre foi um desafio para o ortodontista, já que esta fase dependerá de uma boa colagem inicial dos acessórios, da prescrição utilizada, da maloclusão do paciente e certamente exigirá uma individualização do arco ortodôntico, não importando a prescrição usada (MBT, Roth, Capelloza, Damon, dentre outras).

O objeto deste estudo foi um braquete cerâmico, de alumina policristalina, totalmente produzido em fluxo digital 3D, em um processo que envolve a obtenção do modelo da arcada e da oclusão dentária do paciente por meio de escaneamento digital. Com auxílio de um *software* especializado, o ortodontista, realiza todo o planejamento com o auxílio de uma equipe da empresa. Esse planejamento inclui todas as etapas do procedimento, possibilitando que tanto o profissional quanto o paciente realizem uma pré-visualização da finalização do tratamento, gerando assim maior previsibilidade do tratamento.

Após aprovado planejamento, a empresa confecciona, em impressora 3D os braquetes com a prescrição personalizada de acordo com os objetivos finais estabelecidos na fase anterior, com a base de cada acessório individualizada de acordo com a curvatura dos dentes respectivos e com a sequência de arco ideal. Além dos braquetes também é impresso o guia para colagem indireta dos mesmos. Neste sentido devemos concordar com Nojima et al. (2015), destacando que o correto posicionamento dos braquetes é muito importante, pois qualquer erro incorporado pode refletir em posição dentária com significativo desvio, prejudicando o acabamento ortodôntico.

Nawrocka et al., em 2020, revisaram a literatura sobre a técnica de colagem indireta em ortodontia e concluíram que a colagem indireta auxiliada por tecnologias digitais proporciona uma localização melhor, mais fácil e mais precisa do braquete e que, portanto, as tecnologias modernas parecem ser uma solução favorável facilitando o tratamento ortodôntico e proporcionando resultados promissores.

Dentre os benefícios deste *workflow* digital destaca-se a possibilidade de individualização do braquete de acordo com as necessidades biomecânicas e estéticas do paciente, ou seja, não só permitindo ao ortodontista alcançar finalizações de tratamentos muito mais precisas, mas, em um futuro próximo, personalizar também

a cerâmica, com uma tonalidade mais próxima do esmalte do paciente e/ou com uma translucidez adequada. Desta forma o paciente ficará mais satisfeito com sua aparência não somente no resultado final, porém também durante o transcorrer do tratamento.

Sendo assim, no lugar de braquetes cerâmicos industrializados, utilizando prescrições generalizadas, abre-se espaço para braquetes estéticos, com prescrição individualizada com base 100% adaptada à coroa dos dentes, contornando suas curvaturas e imperfeições, confeccionados em impressora 3D.

Diversos autores já relataram a confecção de braquetes em impressora 3D.

Krey et al., em 2016, publicaram um artigo sobre braquetes impressos em impressora 3D onde projetaram acessórios *Edgewise* utilizando CAD para fins de demonstração. Após a segmentação do modelo de maloclusão gerado com base nos dados do escaneamento intraoral, os braquetes foram posicionados digitalmente nos dentes e um modelo de oclusão alvo foi criado. Os braquetes de policarbonato, a guia de posicionamento e a tela de retenção, projetados digitalmente no modelo de oclusão alvo, foram impressos em 3D usando um *Digital Light Processing* 3D. Concluíram, que a sequência de tratamento inserida em um fluxo de trabalho totalmente digital demonstrou a viabilidade do tratamento ortodôntico usando braquetes impressos em 3D considerando também que a impressão 3D de braquetes ortodônticos é extremamente econômica. Este método proposto pode ser considerado como ponto de partida para o CAD/CAM de braquetes customizados de outros materiais.

Assim também, Yang et al., em 2019, realizaram um estudo *in vitro* sobre um novo braquete cerâmico personalizado para ortodontia estética, com o objetivo de desenvolver um procedimento para estabelecer uma técnica padronizada de fabricação de um sistema de braquetes cerâmicos estéticos individualizados dotados de cor e forma seletiva para satisfazer as necessidades individuais dos pacientes. Para isso projetaram modelos virtuais de braquetes de acordo com a morfologia dos dentes do paciente e as demandas clínicas, sendo o material utilizado para impressão o dissilicato de lítio. Os resultados mostraram que matérias-primas multicoloridas e multi-transparentes proporcionaram ampla gama de opções de cores e propriedades ópticas controláveis para satisfazer as diferentes demandas estéticas de pacientes ortodônticos. Por outro lado, o braquete impresso descrito não apresentou diferenças estatísticas no aspecto de índice de fratura e resistência ao cisalhamento com relação

ao grupo controle. Com isso, os autores concluíram que o braquete confeccionado em impressora 3D demonstrou ser aplicável com boa estética e propriedades biomecânicas.

6.2 Resistência ao cisalhamento

Com relação as qualidades de um braquete, seja ele metálico ou cerâmico, a resistência ao cisalhamento é um tópico de extrema importância, tanto que vem sendo destacada há anos por ortodontistas que publicaram artigos de relevância como Newman (1973), Reynolds (1975), Johnson et al. (1976), Olsen et al. (1997), Haydar et al. (1999), Bakhadher et al. (2015), Demirovic et al. (2018), Shaik et al. (2018), Cetik et al., (2019), Moreira et al., (2020).

Com referência à união do sistema adesivo-braquete, Reynolds em 1975 afirmou que a resistência deve ser de pelo menos 6-8 MPa ou de 5-10 MPa, levando em consideração o tamanho da base do braquete. Esta afirmação se fundamenta quando estudamos o artigo de Powers et al., de 1997, "*Orthodontic adhesives and bond strengthtesting*", no qual eles citam que a força de mastigação média que pode ser transferida para o suporte está entre 40 e 140 Newtons.

Assim também, Reddy et al. (2013) estudando SBS de braquetes de alumina policristalina, encontraram como média uma força de $20,68 \pm 3,89$ Mpa, apesar de Chalipa et al. (2016) terem encontrado como resultado o valor médio de $10,7 \pm 2,06$ Mpa. Krey et al. (2016), Darkazanly (2018); Yang (2019) entre outros relataram braquetes impressos em impressora 3D com diversas matérias, como policarbonato e dissilicato de lítio, porém não foi encontrado, em toda bibliografia revisada neste trabalho no período de fevereiro de 2021 até julho de 2022, utilizando banco de dados das bases do *PubMed*, *Scielo* e *Scopus*, nenhum trabalho que testasse SBS de braquetes cerâmicos, em alumina policristalina, com confecção em impressoras 3D. Assim, consideramos que neste trabalho foi testado, de forma inédita, a resistência ao cisalhamento dos braquetes estéticos, confeccionados em alumina policristalina, impressos em impressora 3D.

Os resultados encontrados neste trabalho, embora pouco maiores nos grupos

LFC e LFW, quando comparados com o grupo controle não mostraram diferenças significantes ($p=0,033$), como mostra a figura 10, sendo considerados, portanto, semelhantes quanto a resistência e adesividade. por outro lado, os valores médios observados de $12 \pm 5,26$ para grupo C, $16,45 \pm 3,57$ para grupo LFC e $14,58 \pm 5,04$ para LFW, encontram-se próximos dos valores médios de SBS descritos na literatura, como por exemplo o estudo de Olsen (1997) que obteve como média de SBS 14.4 ± 6.4 Mpa, Melo (2015) encontrou, para braquetes cerâmicos a média de $9,39 \pm 4,42$ e de Reddy et al., que como supra citado encontrou $20,68 \pm 3,89$ Mpa.

Segundo Reynolds e Fraunhofer (1976) a média da força transmitida para o braquete durante a mastigação é de 5,6 a 7,8 Mpa. Nossos resultados demonstram que braquetes impressos em impressora 3D, utilizando como material a alumina policristalina, apresentam uma resistência satisfatória, e aplicável clinicamente, e embora tenham sido testados em dentes bovinos, Reis et al. (2004), Saleh e Taymour (2003) e Titley et al. (2006) consideraram em seus estudos essa condição apropriada para estudos *in vitro*.

Outro fator importante que deve ser levado em consideração é a base do braquete. Os braquetes dos três grupos testados neste trabalho possuíam uma base de aproximadamente 16 mm^2 .

MacColl et al. (1988), testaram a resistência de união ao cisalhamento de braquetes cujas bases passaram por jateamento de superfícies, redução da área de superfície e condicionamento do esmalte com vários tipos distintos de ácidos. Os resultados demonstraram que não houveram diferenças estatisticamente significativas na resistência ao cisalhamento entre os três tamanhos de base maiores, o que indicou que a resistência ao cisalhamento é independente da área de superfície entre $6,82$ e $12,35 \text{ mm}^2$. Quando a base sofreu uma redução de $6,82$ para $2,38 \text{ mm}^2$ houve também uma redução na resistência de união que foi associada justamente à redução da área de superfície da base. Os autores concluíram que não há necessidade de aumentar a área de superfície da base além de $6,82 \text{ mm}^2$. Outro parâmetro considerado pelos autores é o condicionamento ácido na superfície do esmalte, o ácido maleico aquoso 10% foi associado à maior resistência de união ao cisalhamento.

O condicionamento de esmalte realizado com ácido maleico 10% durante o tempo de 60 segundos resultará em uma desmineralização do tipo I, que é o tipo mais

comum e é caracterizado pela remoção central do bastão (prismas) do esmalte, já o tipo II é caracterizado pela desmineralização na periferia dos bastões, deixando como remanescente o núcleo do mesmo e ambos os tipos de padrões descritos formam um substrato retentivo extremamente favorável à interação com as resinas compostas (Bevilaqua, Porto Neto, 1998; Nagem filho et al., 2000). Durante a execução dos testes do presente trabalho, o condicionamento ácido do esmalte foi realizado com ácido fluorídrico 37% durante 30 segundos, demonstrado na figura 4, com o objetivo de obter um condicionamento do tipo I, uma vez que esse é o protocolo estabelecido como preferido para a prática clínica (Nagem filho et al., 2000).

6.3 Avaliação do Índice de adesivo remanescente (ARI)

Estudos de Souza et al. em 1999 e Pithon et al. em 2006 relataram que o local onde frequentemente ocorre a fratura na ligação dos braquetes é na interface braquete/adesivo, justificado pela à fraca união adesiva existente nesta área.

Com relação à adesão de braquetes, pensamos em suas bases com referência ao imbricamento mecânico, e com relação às suas propriedades, Sobreira et al. (2007) citaram que elas podem apresentar substâncias químicas incorporadas, com o objetivo de promover união com o sistema adesivo, assim a colagem dos braquetes cerâmicos inicialmente era realizada com jateamento de óxido de zinco e/ou com condicionamento com ácido fluorídrico e aplicação do silano, para aumentar a durabilidade e a estabilidade da união adesiva. Entretanto, durante a remoção destes braquetes ao final do tratamento ortodôntico ocorriam muitas trincas ou fraturas do esmalte pela retenção excessiva destes acessórios aos dentes (Conceição, 2008; Ahrari, 2012).

Desta maneira, na prática clínica, passou-se a utilizar com maior frequência braquetes com sistema de retenção mecânica onde as bases apresentam diferentes configurações e desenhos com objetivo de conferir maior imbricamento do sistema adesivo, aumentando assim a retenção do acessório. Assim esses micro travamentos mecânicos, podem ser favorecidos por recortes, recessões ou através de vários desenhos na superfície de adesão dos braquetes, como p.e. sulcos ou buracos

redondos (Eslamian et al., 2012).

Ramos em 2003 classificou o tipo de falhas durante a remoção dos braquetes em uma pontuação que varia entre 1 e 6 na qual ele classifica os tipos de fraturas adesivas e coesivas. Por outro lado, os autores Artun e Bergland, em 1984, utilizaram um modo diferente de classificação da falha dos acessórios que apresenta um escore de 1 a 4, avaliando microscopicamente a quantidade de adesivo que foi deixada na superfície do braquete. Entre as duas classificações, a de Artun e Bergland é mais aceita e mais utilizada nos estudos revisados para este trabalho como por exemplo: Dutra et al. (2009), Demirovic et al. (2018), Cetik et al. (2019), Teixeira Filho et al. (2019) e Moreira (2020). E assim foi adotada como critério de análise.

Neste trabalho após a descolagem os braquetes foram analisados individualmente com auxílio do microscópio estereoscópio binocular *Discovery V20 – Carl Zeiss®* (Monções, SP – Brasil) observando a morfologia da região da fratura adesiva em todos os corpos de prova. Em todos os casos o local da fratura aconteceu na interface resina-esmalte com um escore considerado 1 segundo os critérios de Artun, J, Bergland, S, 1984, o que está demonstrado no Quadro 8. Uma provável explicação para esse resultado está embasada nos estudos de Retief et al. (1990) e depois Oesterle et al. (1998) que citaram que braquetes colados em dentes bovinos apresentam uma resistência de cisalhamento em torno de 21% a 44% menor do que em dentes humanos. Este fato justifica a observação feita em nosso trabalho de menor quantidade de resina residual na superfície do esmalte.

Diante de todo estudo realizado, os braquetes cerâmicos confeccionados em impressora 3D apresentou diversas vantagens em relação à sua aplicabilidade clínica quando comparados aos braquetes cerâmicos convencionais, sendo elas: Previsibilidade do resultado final do tratamento ortodôntico; possibilidade de personalização dos acessórios; mecânica mais simples, com uma sequência menor de arcos, uma vez que seus *slots* são individualizados; melhor adaptação à superfície dentária; devido à individualização das bases e resistência ao cisalhamento um pouco maior, apesar de não significativa, podendo levar a um menor índice de fratura facilitando o dia-a-dia clínico do ortodontista. E por fim, como desvantagem apresenta apenas seu custo mais elevado quando comparado ao sistema convencional de braquetes.

7 CONCLUSÃO

A metodologia empregada e a análise e discussão dos resultados obtidos levaram às seguintes conclusões:

- Os braquetes cerâmicos confeccionados em impressora 3D apresentaram valores de força e de resistência ao cisalhamento pouco maiores daqueles observados nos braquetes convencionais, entretanto sem diferenças estatisticamente significantes;
- Tanto os braquetes cerâmicos impressos em 3D quanto os braquetes convencionas pré-fabricados (grupo C) apresentaram fratura adesiva na interface resina-esmalte demonstrando boas retenções em suas bases.
- Os braquetes cerâmicos dos grupos LFC e LFW, com resultados semelhantes ao do grupo C (controle), podem ser considerados adequados clinicamente.

REFERÊNCIAS

Aguiar GAR. Aparelhos (braquetes) estéticos. *Revista FAIPE*. 2018;7(2):9-15.

Ahrari F, Heravi F, Fekrazad R, Farzanegan F, Nakhaei S. Does ultra-pulse CO(2) laser reduce the risk of enamel damage during debonding of ceramic brackets? *Lasers Med Sci*. 2012;27(3):567-74. doi: 10.1007/s10103-011-0933-y. Epub 2011 Jun 11. PMID: 21667137.

Al Mortadi N, Eggbeer D, Lewis J, Williams RJ. CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012;142(5):727–33. doi: 10.1016/j.ajodo.2012.04.023. PMID: 23116514.

Arash V, Naghipour F, Ravadgar M, Karkhah A, Barati MS. Shear bond strength of ceramic and metallic orthodontic brackets bonded with self-etching primer and conventional bonding adhesives. *Electron Physician*. 2017;9(1):3584–91. doi: 10.19082/3584. PMID: 28243410; PMCID: PMC5308498.

Artun, J, Bergland, S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod*. 1984;85:333-40.

Bakhadher W, Halawany H, Talic N, Abraham N, Jacob V. Factors Affecting the Shear Bond Strength of Orthodontic Brackets - a Review of In Vitro Studies. *Acta Medica (Hradec Kralove)*. 2015;58(2):43-8. doi: 10.14712/18059694.2015.92. PMID: 26455565.

Behnam M, Sajjad S, Reza S, Samaneh S, Mahsan M, Shirin S. Shear bond strength and debonding characteristics of metal and ceramic brackets bonded with conventional acidetch and self-etch primer systems: An in vivo study. *J Clin Exp Dent*. 2016;8(1):38-43. doi: 10.4317/jced.52658. PMID: 26855704; PMCID: PMC4739366.

Bevilacqua FM, Porto-Neto ST. Estudo do condicionamento ácido do esmalte humano: avaliação pelo microscópio eletrônico de varredura / Human enamel acid etching study: evaluation with scanning electron microscopy. *Rev Odontol Unesp*. 1998;27(1):319-30.

Birnie D. Ceramic Brackets. *Br J Orthod*. 1990;17(1):71-5. doi: 10.1179/bjo.17.1.71. PMID: 2178681.

Brito Júnior VS, Weber JSU. O aparelho pré-ajustado: sua evolução e suas prescrições. *Rev Dent Press Ortod Ortop Facial*. 2006;11(3):104-56.

Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*. 1955;34(6):849-53. doi: 10.1177/00220345550340060801. PMID: 13271655.

Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of conventional and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2003 Oct;124(4):403-9. doi: 10.1016/s0889-5406(03)00501-8. PMID: 14560270.

Chalipa J, Jalali YF, Gorjizadeh F, Baghaeian P, Hoseini MH, Mortezaei O. Comparison of Bond Strength of Metal and Ceramic Brackets Bonded with Conventional and High-Power LED Light Curing Units. *J Dent (Tehran)*. 2016 Nov;13(6):423-30. PMID: 28243304; PMCID: PMC5318499.

Cetik S, Ha TH, Sitri L, Duterme H, Pham V, Atash R. Comparison of Shear Strength of Metal and Ceramic Orthodontic Brackets Cemented to Zirconia Depending on Surface Treatment: An In Vitro Study. *Eur J Dent*. 2019;13(2):150-55. doi: 10.1055/s-0039-1694304. PMID: 31450247; PMCID: PMC6777170.

Conceição HN. Reparo em porcelana: efeitos dos diferentes tratamentos superficiais. [Monografia]. Passo Fundo (RS). UNINGÁ, Faculdade de Ingá; 2008.

Correr Sobrinho I, Correr GM, Consani S, Sinhoreti MAC, Consani RLX. Influência do tempo pós-fixação na resistência ao cisalhamento de bráquetes colados com diferentes materiais. *Pesqui Odontol Bras*. 2002;16(1):43-49.

Darkazanly FN. In-vitro-Untersuchung der mechanischen Parameter eines neuen CAD/CAM-gefertigten Brackets. Tese [Doutorado]. Faculdade de Medicina Ernst Moritz Arndt; 2018.

Delavarian M, Rahimi F, Mohammadi R, Imani MM. Shear bond strength of ceramic and metal brackets bonded to enamel using color-change adhesive. *Dent Res J (Isfahan)*. 2019 Jul-Aug;16(4):233-8. MID: 31303877; PMCID: PMC6596176.

Demirovic K, Slaj M, Spalj S, Slaj M, Kobaslija S. Comparison of Shear Bond Strength of Orthodontic Brackets Using Direct and Indirect Bonding Methods *in Vitro* and *in Vivo*. *Acta Inform Med*. 2018 Jun;26(2):125-9. doi: 10.5455/aim.2018.26.125-129. PMID: 30061785; PMCID: PMC6029916.

Dutra GAA, Rocha JM, Fraga, MR, Vitral, RWF. Avaliação comparativa in vitro da resistência à força decisalhamento apresentada pelo bráquete cerâmico InVuTM / Comparative in vitro evaluation of the shear bond strength of the ceramic bracket InVuTM. *Pesqui Bras Odontopediatria clín integr*. 2009;9(2):173-9.

Eslamian L, Borzabadi-Farahani A, Mousavi N, Ghasemi A. A comparative study of shear bond strength between metal and ceramic brackets and artificially aged composite restorations using different surface treatments. *Eur J Orthod*. 2012;34(5):610-7. doi: 10.1093/ejo/cjr044. Epub 2011 Mar 29. PMID: 21447779.

Fan D, Li Y, Wang X, Zhu T, Wang Q, Cai H, et al. Progressive 3D Printing Technology and Its Application in Medical Materials. *Front Pharmacol*. 2020; 20(11):122. doi: 10.3389/fphar.2020.00122. PMID: 32265689; PMCID: PMC7100535.

Ghafari J. Problems associated with ceramic brackets suggest limiting use to

selected teeth. *Angle Orthod Appleton*. 1992;62(2):145-52. doi: 10.1043/0003-3219(1992)062<0145:PAWCBS>2.0.CO;2. PMID: 1626749.

Gracco A, Tracey S. The Insignia system of customized orthodontics. *J Clin Orthod*. 2011;45(8):442–51. PMID: 22094725.

Haydar B, Sarikaya S, Cehreli ZC. Comparison of shear bond strength of three bonding agents with metal and ceramic brackets. *Angle Orthod*. 1999 Oct;69(5):457-62. doi: 10.1043/0003-3219(1999)069<0457:COSBSO>2.3.CO;2. PMID: 10515144.

Johnson Jr WT, Hembree Jr JH, Weber FN. Shear strength of orthodontic direct-bonding adhesives. *Am J Orthod*. 1976;70(5): 559-66.

Karamouzou A, Athanasiou AE, Papadopoulos MA. Clinical characteristics and properties of ceramic brackets: a comprehensive review. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1997;112(1):34-40. doi: 10.1016/s0889-5406(97)70271-3. PMID: 9228839.

Kieling TCB, Correr-Sobrinho L, Godoi APT, Menezes CC, Venezian GC, Costa AR. Fracture strength of monocrystalline and polycrystalline ceramic brackets during archwire torque. *Rev Odontol UNESP*. 2019;48:e20190048

Krey KF, Darkazanly N, Kühnert R, Ruge S. 3D-printed orthodontic brackets - proof of concept. *Int J Comput Dent*. 2016;19(4):351-62. PMID: 28008431.

Liaw CY, Guvendiren M. Current and emerging applications of 3D printing in medicine. *Biofabrication*. 2017 Jun 7;9(2):024102. doi: 10.1088/1758-5090/aa7279. PMID: 28589921.

Ligon SC, Liska R, Stampfl J, Gurr M, Mülhaupt R. Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chem Rev*. 2017 Aug 9;117(15):10212-10290. doi: 10.1021/acs.chemrev.7b00074. Epub 2017 Jul 30. PMID: 28756658; PMCID: PMC5553103.

Liu, JK, Chung, CH, Chang, CY, Shieh, DB. Resistência de união e características de descolamento de um novo braquete de cerâmica. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005;128(6):761-65.

Lopes Filho H, Maia LE, Araújo MV, Ruellas AC. Influence of optical properties of esthetic brackets (color, translucence, and fluorescence) on visual perception. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012;141(4):460-7.

Maltagliati LA, Feres RF, Siqueira MA, Furquim D. Braquetes estéticos: considerações clínicas / Aesthetic brackets: clinical considerations. *Dental Press J Orthod*. 2006 jun.-jul;5(3):75-81.

Matasa CG, Graber TM. Angle, the innovator, mechanical genius, and clinician. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2000;117(4):444-52. doi: 10.1016/s0889-5406(00)70164-8. PMID: 10756270.

Mayhew M. Computer-aided bracket placement for indirect bonding. *J Clin Orthod*. 2005;39(11):653–60. PMID: 16380657.

McColl G A, Rossouw P E, Titley K C and Yamin C. The relationship between bond strength and orthodontic bracket base surface area with conventional and microetched foil-mesh. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1998;113:276-81. doi: 10.1016/s0889-5406(98)70297-5. PMID: 9517718.

Melo EVS, Borgesn M, Feitosa VV, Cavalcanti LRO, Panjwani CMBRG, Vanderlei AD. Influência do tratamento de superfície dos braquetes estéticos na resistência de união à resina ortodôntica. *Diversitas J*. 2019;4(2):631-45.

Morais LS, Serra G, Nojima LI, Ruellas ACO. Finalização ortodôntica: uma análise contemporânea / Orthodontic finishing: a contemporary view. *J Bras Ortodon Ortop Facial*. 2006;11(61):83-92.

Moreira FC, Jacob HB, Vaz LG, Guastaldi AC. Effect of Yd:YAG laser irradiation on the shear bond strength of orthodontic metal brackets. *Dental Press J Orthod*. 2020 Jan-Feb;25(1):28-35. doi: 10.1590/2177-6709.25.1.028-035.oar. PMID: 32215475; PMCID: PMC7077943.

Nagem Filho H, Nagem HD, Dias AR, Fiuza CT. Efeito do condicionamento ácido na morfologia do esmalte. *Rev Fob*. 2000;8(1/2):79-85.

Nawrocka A, Lukomska-Szymanska M. The Indirect Bonding Technique in Orthodontics-A Narrative Literature Review. *Dent Mater J*. 2020 Feb 22;13(4):986. doi: 10.3390/ma13040986. PMID: 32098359; PMCID: PMC7078802.

Nanci A. Ten cate histologia oral: desenvolvimento, estrutura e função. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019; 344p.

Nesic D, Schaefer BM, Sun Y, Saulacic N, Sailer I. 3D printing approach in dentistry: the future for personalized oral soft tissue regeneration. *J Clin Med*. 2020;9:1-21. doi: 10.3390/jcm9072238. PMID: 32679657; PMCID: PMC7408636.

Newman GV. Concept and commentary – current status of bonding attachments. *J Clin Orthod*. 1973 Jul; 7(7):425-49. PMID: 4577529.

Nguyen T, Jackson T. 3D technologies for precision in orthodontics. *Sem in Orthod*. 2018;24(4):386-92.

Nojima LI, Araújo AS, Alvez Júnior M. Indirect orthodontic bonding—a modified technique for improved efficiency and precision. *Dental Press J Orthod*. 2015;20(3):109-17. doi: 10.1590/2176-9451.20.3.109-17. PMID: 26154464; PMCID: PMC4520146.

Oesterle LJ, Shellhart WC, Belanger GK. O uso de esmalte bovino em estudos de colagem. *Am J of Orthod and Dentof Orthop*. 1998;114:514-19.

Oliveira MV, Pithon MM, Ruellas ACO, Romano FL. Estudo Comparativo da Resistência ao Cisalhamento de Bráquetes Ortodônticos de Policarbonato. *Ortodontia SPO*. 2007;40(3):197-201.

Olsen ME, Bishara SE, Jakobsen JR. Evaluation of the shear bond strength of different ceramic bracket base designs. *Angle Orthod.* 1997;67(3):179-82. doi: 10.1043/0003-3219(1997)067<0179:EOTSBS>2.3.CO;2. PMID: 9188961.

Pithon MM, Oliveira MV, Ruellas ACO, Romano FL. Shear bond strength of orthodontic brackets to enamel under different surface treatment conditions. *J Appl Oral Sci.* 2007;15(2):127-30. doi: 10.1590/s1678-77572007000200010. PMID: 19089115; PMCID: PMC4327243.

Powers JM, Kim HB, Turner DS. Adesivos ortodônticos e testes de resistência de união. *Semin Orthod.* 1997;3:147-56.

Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. *Ortodontia contemporânea*. 4. ed. Rio de Janeiro (RJ): Ed Elsevier; 2007.

Rahman Z, Barakh Ali SF, Ozkan T, Charoo NA, Reddy IK, Khan MA. Additive Manufacturing with 3D Printing: Progress from Bench to Bedside. *AAPS J.* 2018 Sep 12;20(6):101. doi: 10.1208/s12248-018-0225-6. PMID: 30209693.

Ramos RP. Efeito tração da de irradiação com laser ER:YAG sobre a dentina: avaliação in vitro da resistência a tração de sistemas de adesivos convencionais e autocondicionante em substratos dentinários irradiados, e análise da interface adesiva em MEV [dissertação]. Ribeirão Preto (SP). Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto; 2003.

Reddy YG, Sharma R, Singh A, Agrawal V, Agrawal V, Chaturvedi S. The Shear Bond Strengths of Metal and Ceramic Brackets: An in-Vitro Comparative Study. *J Clin Diagn Res.* 2013 Jul;7(7):1495-7. PMID: 23998105; PMCID: PMC3749675.

Reis AF, Giannini M, Kavaguchi A, Soares CJ, Line SR. Comparison of microtensile bond strength to enamel and dentin of human, bovine, and porcine teeth. *J Adhes Dent.* 2004 Summer;6(2):117-21. PMID: 15293420. PMID: 15293420.

Retief D, Mandras R, Russell C, Denys F. Dentes humanos versus bovinos extraídos em estudos de laboratório. *Am J Dent.* 1990;3:253-8.

Reynolds I. Composite filling materials as adhesives in orthodontics'. *Br Dent J.* 1975;138:83. doi: 10.1038/sj.bdj.4803387. PMID: 1089421.

Reynolds IR, von Fraunhofer JA. Direct bonding of orthodontic attachments to the teeth: The relation of adhesive bond strength to gauze mesh size. *Br J Orthod.* 1976; 3:91-5. doi: 10.1179/bjo.3.2.91. PMID: 779822.

Romano F, Correr A, Sobrinho L. Resistência ao cisalhamento de braquetes metálicos colados com um novo compósito ortodôntico. *Braz J Oral Sci.* 2009;8:76-80.

Rondelli CEM. Avaliação in vitro da resistência ao cisalhamento e à tração de braquetes fixados com diferentes materiais[dissertação]. Campinas: Centro de Pós

graduação São Leopoldo Mandic; 2004.

Saleh F, Taymour N. Validity of using bovine teeth as a substitute for human counterparts in adhesive tests. *East Mediterr Health J.* 2003 Jan-Mar;9(1-2):201-7. PMID: 15562752.

Sartori MB. Bráquetes estéticos na ortodontia contemporânea. [Monografia de especialização]. Piracicaba (SP). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba;2013.

Shaik JA, Reddy RK, Bhagyalakshmi K, Shah MJ, Madhavi O, Ramesh SV. *In vitro* Evaluation of Shear Bond Strength of Orthodontic Brackets Bonded with Different Adhesives. *Contemp Clin Dent.* 2018 Apr-Jun;9(2):289-92. doi: 10.4103/ccd.ccd_15_18. PMID: 29875575; PMCID: PMC5968697.

Silva JVL, Maia IA. Desenvolvimento de dispositivos de tecnologia assistiva utilizando impressão 3D. Simpósio Internacional de Tecnologia Assistiva; 2014.

Sobreira CR, Loriato LV, Oliveira DD. Bráquetes estéticos: Características e Comportamento Clínico. *Dental Press J Orthod.* 2007;6(1):94–102.

Souza CS, Francisconi PAS, Araújo PA. Resistências de união de cinco cimentos utilizados em ortodontia. *Rev FOB.* 1999;7(1/2):15-21.

Swartz ML. Ceramic Brackets. *J Clin Orthod.* 1988;22(2):82–8. PMID: 3075208.

Teixeira Filho L, Lucato AS, Zanin L, Venezia GC. Resistência ao cisalhamento entre tipos de bases de bráquetes cerâmicos. *Orthod Sci Pract.* 2019;12(45):90-4.

Titely K, Chernecky R, Rossouw P, Kulkarni G. The effect of various storage methods and media on shear-bond strengths of dental composite resin to bovine dentine. *Arch Oral Biol.* 1998;43:305-11. doi: 10.1016/s0003-9969(97)00112-x. PMID: 9839706.

Ventola CLMS. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. *J Clin Pharm Ther.* 2014;39:10.

Yang L, Yin G, Liao X. Novel customized ceramic bracket for esthetic orthodontics: in vitro study. *Progress in Orthodontics.* 2019;20:39.

Yu B, Lee YK. Aesthetic colour performance of plastic and ceramic brackets - an in vitro study. *J Orthod.* 2011;38:167-74. doi: 10.1179/14653121141434. PMID: 21875990.

APÊNDICE A – Quadro de materiais e equipamentos utilizados

Materiais e Equipamentos	Qtd.	Marca e modelo	Lote	Validade
Dentes bovinos	30	Açougue Multicortes Matadouros Frigorífico (Pindamonhangaba, São Paulo – Brasil)	-	-
Braquetes cerâmicos UR	10	Clarity® - 3M – UNITEK (Monrovia, Califórnia – EUA)		-
Braquetes cerâmicos UR	10	LightForce Clear® - LFSsystem 3D (Cambridge, Massac – EUA)		-
Braquetes cerâmicos UR	10	LightForce White® - LFSsystem 3D (Cambridge, Massac – EUA)		-
Máquina universal de testes	1	EMIC® - DL1000 (São José dos Pinhais, Pr – Brasil)		-
Tubo PVC 25mm	30	Tigre® (Cotia, SP - Brasil)	-	-
Microscópio Estereoscópio Binocular	1	Discovery V20 Carl Zeiss® (Oberkochen, Alemanha)	-	-
Resina acrílica quimicamente ativada	1	VIPI Flash (Pirassununga - SP- Brasil)	00001427 27	03/2022
Pedra Pomes	1	Pasom (São Paulo, SP)		
Taça de Borracha	1	Microdont (São Paulo, SP – Brasil)	-	-
Condicionamento ácido 37%	1	Biodinâmica (Ibiporã - PR)	-	-
Adesivo ortodôntico	1	Transbond™ XT® (3M/Unitek®, Monrovia, Calif - EUA)	21004000 73	09/10/2023
Sistema adesivo	1	Light Cure Ortho Adhesive® (3M/Unitek®, Monrovia, Calif - EUA)	21097009 52	18/01/2024
Microbrush	6	FGM (Joinville, SC, Brasil)	-	-
Fotopolimerizador	1	Poly Wireless – Kavo (Joinville, SC – Brasil)	-	-
Contra-ângulo de baixa rotação	1	Kavo (Joinville, SC – Brasil)	-	-

ANEXO A – Protocolo de validação teste de resistência ao cisalhamento. ISO 29022:201

This preview is downloaded from www.sis.se. Buy the entire standard via <https://www.sis.se/std-916201>

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 29022:2013(E)

Dentistry — Adhesion — Notched-edge shear bond strength test

1 Scope

This International Standard specifies a shear test method used to determine the adhesive bond strength between direct dental restorative materials and tooth structure, e.g. dentine or enamel. The method as described is principally intended for dental adhesives. The method includes substrate selection, storage and handling of tooth structure, as well as the procedure for testing.

NOTE 1 Testing adhesion to tooth structure is technique sensitive and experience with the test method is required.

NOTE 2 With modification, it may be possible to use this method for adhesive restorative materials (e.g. glass-ionomer materials).

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 1942, *Dentistry — Vocabulary*

ISO 3696, *Water for analytical laboratory use — Specification and test methods*

ISO 6344-1, *Coated abrasives — Grain size analysis — Part 1: Grain size distribution test*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO 1942 and the following apply.

3.1

bond strength

force per unit area required to break a bonded assembly with failure occurring in or near the adhesive/adherend interface

3.2

direct dental restorative material

material used to restore a tooth that is placed in the plastic or unset state and sets intraorally when used clinically

3.3

substrate

material upon the surface of which an adhesive is spread for any purpose, such as bonding or coating

4 Tooth substrate and storage

4.1 General

Use bovine incisors or human erupted permanent third molars for the measurement of bond strength. Record the type of substrate used.

ANEXO B – Ofício do comitê de ética no uso de animais

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José dos Campos



CEUA - Comissão de Ética no
Uso de Animais

São José dos Campos, 21 de junho de 2022

Ofício nº 02/2022-CEUA-ICT-SJC-UNESP

O protocolo de nº 10/2022, intitulado **"BRAQUETES CERÂMICOS IMPRESSOS 3D: ENSAIO BIOMECÂNICO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO"**, de sua responsabilidade, não necessita ser analisado por esta CEUA, devido a pesquisa em tela não envolver a utilização de vertebrados e sim o uso de **dentes bovinos, como substrato comercialmente disponível**, de acordo com a Lei nº 11.794 de 08/10/2008 – Lei "Arouca".

Atenciosamente

Profa. Dra. LUANA MAROTTA REIS DE VASCONCELLOS
Vice-Coordenadora em exercício

Mestranda LARISSA AMARAL DE SOUZA

Mestrado Profissional

ICT-CSJC-UNESP

Av. Eng. Francisco José Longo, 777 – Jd. São Dimas
CEP 12201-970 – F. (12) 3947-9028
carlos.guedes@unesp.br/andrea.marco@unesp.br

ANEXO C – Dados estatísticos

Resistência ao cisalhamento – Clarity®

Resistência ao cisalhamento 1 – LightForce Clear®

Resistência ao cisalhamento 2 – LightForce White®

Descriptive Statistics: Força de Cisalhamento; Força de Cisalhamento

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Maximum									
Força de Cisalhamento	10	0	175,1	28,3	89,5	57,3	73,7	169,5	254,5
314,2									
Força de Cisalhamento	10	0	175,1	28,3	89,5	57,3	73,7	169,5	254,5
314,2									

Descriptive Statistics: Resistência ao Cisalhamento

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Resistência ao Cisalhame	10	0	10,94	1,77	5,59	3,58	4,61	10,60	15,90

Variable	Maximum
Resistência ao Cisalhame	19,64

Descriptive Statistics: Força de Cisalhamento_1

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Força de Cisalhamento_1	10	0	283,3	26,8	84,9	175,9	195,4	293,7	340,8

Variable	Maximum
Força de Cisalhamento_1	416,8

Descriptive Statistics: Resistência ao Cisalhamento_1

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Resistência ao Cisalhame	10	0	17,71	1,68	5,31	10,99	12,21	18,36	21,30

Variable	Maximum
Resistência ao Cisalhame	26,05

Descriptive Statistics: Força de Cisalhamento_2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
Q3								
Força de Cisalhamento_2	10	0	219,3	27,9	88,1	92,7	126,8	229,3
								280,9

Variable	Maximum
Força de Cisalhamento_2	351,2

Descriptive Statistics: Resistência ao Cisalhamento_2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
Q3								
Resistência ao Cisalhame	10	0	13,71	1,74	5,51	5,79	7,92	14,33
								17,56

Variable	Maximum
Resistência ao Cisalhame	21,95

One-way ANOVA: Força de Cisalhamento; Força de Cisalhamento_1; Força de Cisalhamento_2

Method

Null hypothesis	All means are equal
Alternative hypothesis	At least one mean is different
Significance level	$\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	Força de Cisalhamento; Força de Cisalhamento_1; Força de Cisalhamento_2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	59209	29605	3,86	0,033
Error	27	206850	7661		
Total	29	266059			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
87,5278	22,25%	16,50%	4,02%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
Força de Cisalhamento	10	175,1	89,5	(118,3; 231,9)
Força de Cisalhamento_1	10	283,3	84,9	(226,6; 340,1)
Força de Cisalhamento_2	10	219,3	88,1	(162,5; 276,1)

Pooled StDev = 87,5278

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Força de Cisalhamento_1	10	283,3	A
Força de Cisalhamento_2	10	219,3	A B
Força de Cisalhamento	10	175,1	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

Interval Plot of Força de Cis; Força de Cis; ...

One-way ANOVA: Resistência ao Cisalhame; Resistência ao Cisalhame; Resistência ao Cisalhame

Method

Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis At least one mean is different
 Significance level $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	Resistência ao Cisalhamento; Resistência ao Cisalhamento_1; Resistência ao
		Cisalhamento_2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	231,3	115,64	3,86	0,033
Error	27	807,9	29,92		
Total	29	1039,2			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,47017	22,26%	16,50%	4,02%

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
Resistência ao Cisalhamento	10	10,94	5,59	(7,40; 14,49)
Resistência ao Cisalhamento_1	10	17,71	5,31	(14,16; 21,26)
Resistência ao Cisalhamento_2	10	13,71	5,51	(10,16; 17,26)

Pooled StDev = 5,47017

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Resistência ao Cisalhamento_1	10	17,71	A
Resistência ao Cisalhamento_2	10	13,71	A B
Resistência ao Cisalhamento	10	10,94	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs