



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA
MESTRADO EM ODONTOLOGIA



**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINA COMPOSTA ORTODÔNTICA
EXPERIMENTAL CONTENDO SILICATO DOPADO DE PRATA**



SÃO LUÍS

2024

LUIZ BERNARDO DA MOTA NETO

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINA COMPOSTA ORTODÔNTICA
EXPERIMENTAL CONTENDO SILICATO DOPADO DE PRATA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Alex Luiz
Pozzobon Pereira

**SÃO LUÍS
2024**

da Mota Neto, Luiz Bernardo.

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINA COMPOSTA
ORTODÔNTICA EXPERIMENTAL CONTENDO SILICATO DOPADO DE
PRATA / Luiz Bernardo da Mota Neto. - 2024.

47 f.

Orientador(a): Alex Luiz Pozzobon Pereira. Dissertação (Mestrado) -
Programa de Pós-graduação em Odontologia/ccbs, Universidade
Federal do Maranhão, UFMA, 2024.

1. Materiais dentários. 2. Ortodontia. 3. Prata. 4. Resinas Compostas. I.
Pozzobon Pereira, Alex Luiz. II. Título.

A Comissão julgadora da Defesa do Trabalho de Mestrado em Odontologia, em sessão pública realizada no dia 12/ 12/ 2023, considerou a candidato(a).

() APROVADO

() REPROVADO

1) Examinador: Prof. Dr. Vandilson Pereira Rodrigues

2) Examinadora: Profa. Dra. Luciana Artioli Costa

3) Presidente: Prof. Dr. Alex Luiz Pozzobon Pereira

“Foi o tempo que dedicastes à tua rosa que a fez tão importante”
(Antoine de Saint-Exupéry)

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter guiado e guardado minha vida.

Aos meus pais, Luiz Júnior e Laura, por terem sempre confiado e me apoiado durante toda minha vida.

Aos meus irmãos, Gabriel e Victor, por torcerem pelo meu sucesso e estarem próximos.

As minhas avós Maria Teresa e Jacira, pelo amor incondicional.

Ao meu orientador, Alex Pozzobon, pelos ensinamentos e por ter acompanhado a minha jornada tanto na graduação quanto no mestrado.

Aos professores docentes do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Maranhão, que não mediram esforços e sempre estiveram à disposição para colaborar no aprimoramento dos trabalhos desenvolvidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Ensino Superior- CAPES, pela bolsa de mestrado concedida.

A empresa Biodinâmica, pelo fornecimento de parte dos materiais utilizados nesse trabalho.

Ao Dr. Paulo Vitor Campos Ferreira, pós doutorando do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Maranhão, pela assistência, amizade e dedicação em todas as etapas desse trabalho.

Ao Prof. Dr. José Bauer, do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Maranhão, por seu empenho e ajuda no delineamento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Vandilson Rodrigues, do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Maranhão, pelos ensinamentos, paciência e auxílio nos testes estatísticos, além das valorosas contribuições na etapa de qualificação desse trabalho.

A Profa. Dra. Andrea Lago, do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Maranhão, pelas importantes observações na etapa de qualificação desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Tarcísio Leitão, do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Maranhão, pela atenção e por ter disponibilizado os dentes bovinos utilizados no trabalho.

A Profa. Dra. Leily Firoozmand, do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Maranhão, pela disponibilidade e suporte no trabalho.

A Profa. Dra. Soraia Carvalho, do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Maranhão, pela orientação durante o estágio docente.

Ao amigo Felipe Gomes, pela ajuda nos testes de microdureza de superfície e rugosidade.

Aos amigos George Bonates e Olivia Figueiredo, por terem fornecido parte do material utilizado no trabalho.

Aos técnicos dos diversos laboratórios da Universidade Federal do Maranhão onde foram realizados os ensaios desse trabalho, pela sua colaboração na aquisição dos dados.

Aos colegas do mestrado e doutorado, pelos bons momentos e compartilhamento de experiências durante o mestrado.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Ag	Prata
FRU	Força de resistência de união
LMB	Lesões de mancha branca
MDPB	Metacrilóiloxidodecilpiridínio
MEV	Microscópio de varredura eletrônica

LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E FIGURAS

Tabela 1.	Descrição dos materiais utilizados no estudo.....	22
Figura 1.	Ensaio de cisalhamento.....	24
Figura 2.	Escores	25
Figura 3.	Edentação Knoop.....	26
Gráfico 1.	Gráfico análise comparativa da FRU entre os grupos de estudo.....	28
Gráfico 2.	Gráfico análise comparativa do escore IRA entre os grupos de estudo.....	28
Gráfico 3.	Gráfico análise comparativa da rugosidade entre os grupos de estudo.....	28
Gráfico 4.	Gráfico Análise comparativa de microdureza entre os grupos de estudo.....	28

DA MOTA NETO, Luiz Bernardo. **Propriedades mecânicas de resina composta ortodôntica experimental contendo silicato dopado de prata**, 2023, Dissertação (Mestrado em Odontologia) –Programa de Pós- Graduação em Odontologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís. 47p.

RESUMO

Introdução: O descolamento de bráquetes durante o tratamento ortodôntico é uma situação que pode levar ao atraso na sequência da mecânica ortodôntica, aumento de custos e da insatisfação de pacientes em relação ao tempo total de tratamento. Para a investigação de novos materiais com finalidade de colagem de acessórios ortodônticos é necessário avaliar suas propriedades mecânicas através da força de resistência de união, microdureza de superfície e rugosidade para observar se estará apta ao uso do aparelho, garantindo a sobrevivência do bráquete ao longo do seguimento do tratamento. A incorporação de agente antimicrobianos aos sistemas adesivos e resinas pode afetar suas propriedades mecânicas, podendo torna-la imprópria para uso clínico. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi comparar as propriedades mecânicas de uma resina composta ortodôntica experimental com silicato dopado de Prata (Ag), com sistemas adesivos ortodônticos comerciais, para avaliar se a adição de Ag têm influência sobre as propriedades mecânicas dos sistemas adesivos ortodônticos.

Metodologia: Foram selecionados 36 dentes incisivos bovinos, livres de defeitos de esmalte e trincas, divididos randomicamente em 3 grupos (n=12/grupo): grupo Transbond, grupo Biofix e grupo Exp Ag. O corpo de prova foi formado por um bráquete colado na porção central da face vestibular de cada dente utilizando o mesmo protocolo de colagem variando apenas o tipo de resina, os dentes ficaram 24 horas armazenados em água destilada em uma estufa a 36,5°C. Após o ciclo inicial, os corpos de prova foram submetidos ao teste de cisalhamento para descolamento dos bráquetes, sendo coletada a medida em Newtons. A força de resistência de união (FRU) foi calculada pela fórmula $FRU(Mpa) = \text{Força (N)} / A(mm^2)$, e em seguida o dente foi levado ao microscópio de varredura eletrônica (MEV) no aumento de 50x para avaliação do escore índice remanescente de adesivo (IRA). Além disso foram confeccionados 5 discos de cada resina para as análises de microdureza de superfície e rugosidade.

Resultados: Observou-se que o grupo Transbond apresentou medidas de FRU mais elevadas do que os outros grupos de estudo ($P < 0,001$). Houve diferenças significantes no escore IRA entre os grupos ($P = 0,041$). A rugosidade foi mais elevada no grupo Transbond ($P < 0,001$), o grupo Exp Ag apresentou valores intermediários. A variável microdureza foi mais elevada no grupo Transbond do que os outros dois grupos ($P < 0,001$), enquanto os grupos Biofix e Exp Ag não apresentaram diferenças significantes entre si.

Conclusão: Os achados sugerem que a resina experimental com silicato dopado de Ag apresenta propriedades mecânicas adequadas para uso ortodôntico e que adição de Ag não influenciou nas propriedades mecânicas avaliadas neste estudo.

Palavras-chave: Ortodontia. Prata. Resinas compostas. Materiais dentários

ABSTRACT

Introduction: Bracket detachment during orthodontic treatment is a situation that can lead to delays in orthodontic mechanics, increased costs and patient dissatisfaction in relation to the total treatment time. To investigate new materials for the purpose of bonding orthodontic accessories, it is necessary to evaluate their mechanical properties through the strength of bond strength, surface microhardness and roughness to observe whether they will be suitable for the use of the appliance, guaranteeing the survival of the bracket throughout the entire treatment period. The incorporation of antimicrobial agents into adhesive systems and resins can affect their mechanical properties, making them unsuitable for clinical practice. Thus, the objective of this study was to compare the mechanical properties of an experimental orthodontic composite resin with silver(Ag)-doped silicate with commercial orthodontic adhesive systems, to evaluate whether the addition of Ag has an influence on the mechanical properties of the orthodontics adhesive systems. **Methods:** 36 bovine incisor teeth, enamel defects and cracks free, were selected and randomly divided by simple draw into 3 groups (n=12), Transbond group, Biofix group and Exp Ag group. A bracket was attached to the central portion of the buccal surface of each tooth using the same bonding protocol, only varying the resin according to each group, the teeth were stored for 24 hours in distilled water in an stove at 36.5°C then subjected to the shear test for bracket detachment, the shear bond strength (SBS) was calculated using the formula $SBS(Mpa) = \text{Force (N)} / A(mm^2)$, then the tooth was taken to the scanning electron microscope (SEM) at 50x magnification to assess the adhesive remnant index (ARI) score, 5 discs were crafted of each resin tested for surface microhardness and roughness analyses. **Results:** It was observed that the Transbond group presented higher SBS than the other study groups ($P < 0.001$). There were significant differences in the ARI score between the groups ($P = 0.041$). Roughness was higher in the Transbond group ($P < 0.001$), the Exp Ag group presented intermediate values. The microhardness variable was higher in the Transbond group than the other two groups ($P < 0.001$), while the Biofix and Exp Ag groups did not show significant differences between them. **Conclusion:** The findings suggest that the experimental resin with Ag-doped silicate has mechanical properties suitable for orthodontic clinical practice and the addition of Ag did not influence the mechanical properties of the resin. Future studies are required to assess the antimicrobial properties of the experimental composite resin with Ag-doped silicate studied.

Keywords: Orthodontics. Silver. Composite resins. Dental materials

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 CAPÍTULO 1.....	17
INTRODUÇÃO.....	20
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
Materiais utilizados.....	22
Preparo dos corpos de prova.....	22
Grupos de estudo.....	22
Resistência ao cisalhamento.....	23
Índice Remanescente de Adesivo (IRA).....	24
Rugosidade (Ra).....	26
Microdureza de superfície (KHN).....	26
Análise estatística.....	27
RESULTADOS.....	27
Resistência ao cisalhamento.....	27
Escore IRA.....	27
Rugosidade.....	28
Microdureza (KHN).....	28
DISCUSSÃO.....	30
REFERÊNCIAS.....	32
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
ANEXO A- NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DE TRABALHOS NO PERIÓDICO BRAZILIAN DENTAL JOURNAL.....	41

1 INTRODUÇÃO

De acordo com um levantamento publicado pela “American Association of Orthodontists”, a procura por tratamento ortodôntico por pacientes adultos têm crescido constantemente ao longo dos anos representando cerca de 30% dos pacientes atendidos por ortodontistas (Saccomanno *et al.*, 2022). É importante destacar que o uso de aparelhos ortodônticos fixos utilizando bráquetes colados sobre os dentes é o método de tratamento mais frequente empregado na ortodontia contemporânea (Jiang *et al.*, 2018). O principal mecanismo de colagem de bráquetes ortodônticos consiste na aplicação de resinas compostas (Viwattanatipa *et al.*, 2010). Essas resinas necessitam de uma preparação do substrato dental, sendo então normalmente associadas a um sistema adesivo.

Esses sistemas adesivos são comumente divididos em dois grandes grupos quanto a forma de interação com o substrato, são eles: sistemas adesivos convencionais, no qual é realizado prévio condicionamento utilizando ácido fosfórico 37% para que haja uma remoção completa da camada de *smear layer* e desmineralização parcial dos tecidos dentais subjacentes; e sistemas adesivos autocondicionantes que dispensam a utilização do ácido fosfórico 37%, visto que, possuem a capacidade de dissolver superficialmente a camada de *smear layer*, assim incorporando-a a interface adesiva (Bedran-Russo *et al.*, 2017).

Os dois grandes grupos de adesivos sofrem uma subdivisão, na qual é levado em consideração a quantidade de etapas necessárias para aplicação da resina composta sobrejacente. Sendo então classificados como: três passos, com condicionamento ácido, aplicação de *primer* e *bond*; dois passos com condicionamento ácido e aplicação do *bond*; e passo único auto condicionante que necessita apenas da aplicação do *primer/bond*. Em seguida surgiram os adesivos universais, que possuem composição semelhante a adesivos autocondicionantes de passo único (*primer + bond*), porém admitem o uso de condicionamento ácido prévio passando a ser dois passos (CHEN *et al.*, 2015).

Adicionalmente em busca de sistemas mais simplificados à prática clínica ortodôntica, no mercado também foram lançadas resinas compostas para colagem de bráquetes que dispensam o uso de um sistema adesivo. Contudo, para sua utilização, ainda se faz necessário o condicionamento ácido prévio com ácido fosfórico 37%, como por exemplo as resinas Biofix (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil) (Fonseca-Silva *et al.*, 2020) e Orthocem (FGM, Joinville, SC, Brasil) (Peloso *et al.*, 2022).

A propriedade mecânica de forte adesão é preconizada nos sistemas adesivos com finalidade ortodôntica, com intuito de não haver descolamento do bráquete. Esse descolamento seria danoso ao andamento do tratamento ortodôntico, levando a extensão do tempo de tratamento, aumento de custos e aumento da insatisfação por pacientes em relação ao tempo total de tratamento (Dos Santos *et al.*, 2022). Contudo, estudos sugerem uma alta incidência de descolamento de bráquetes entre os pacientes em tratamento com aparelho ortodôntico fixo de 0,6% a 28,3% (Almosa *et al.*, 2018).

Na conclusão do tratamento ortodôntico é necessário a remoção dos bráquetes. Assim, a força de resistência da união (FRU) ideal deve suportar o uso do aparelho evitando descolamentos durante o tratamento, mas não ser tão forte a ponto de danificar

o esmalte durante a remoção do bráquete ao término (Condó et. al., 2021). Então em 1975 foi realizado um estudo de revisão de literatura para se determinar os valores de FRU que fossem adequados clinicamente para adesão do bráquete ao substrato de esmalte dentário, sendo sugerido que valores entre 5,9 à 7,8 MPa seriam suficientes (Reynolds et. al., 1975).

Além das propriedades mecânicas a resina composta ortodôntica ideal deveria possuir propriedades antimicrobianas, pois, a cavidade oral proporciona um ambiente favorável a colonização, crescimento e maturação de microrganismos (Wang et al., 2014). A presença de bráquetes e bandas ortodônticas, aumenta os nichos onde se acumulam resíduos, dificultando a remoção de biofilme bacteriano, tornando mais desafiador ao paciente ortodôntico usuário de aparelho fixo manter uma higienização oral adequada (Jiang et al., 2018).

Estudos sobre a interação de bactérias orais e aparelhos ortodônticos tiveram início em 1984. Assim, foi sugerido que a presença de aparelhos ortodônticos fixos, causam um aumento significativo da colonização por bactérias *Streptococcus mutans*, e assim maior risco de cárie (Scheie et al. 1984). Posteriormente foram encontradas evidências de que qualquer dispositivo ortodôntico pode causar um aumento na contagem de bactérias, com significativa diferença entre os tipos de dispositivos, dependendo se eles são fixos ou removíveis. Os aparelhos fixos demonstraram um aumento mais expressivo de bactérias gram-positivas e bactérias gram-negativas mais agressivas como: *S. mutans* e *Lactobacillus spp.* (gram-positiva), *P. gingivalis*, *T. forsythia*, e *T. denticola* (gram-negativa), sendo estas intimamente associadas com desmineralizações e cárie em esmalte e dentina (Lucchese et al., 2018; Mummolo et al., 2020).

O biofilme segue uma cadeia de eventos para sua formação e maturação. Inicialmente ocorre uma adesão de bactérias colonizadoras primárias à película adquirida, através do reconhecimento de receptores. Estas bactérias crescem e causam alterações no ambiente, gerando condições para adesão e incorporação de bactérias anaeróbias a esse biofilme (Marsh, 2010). Os microrganismos aderidos a essa película adquirida, em seu metabolismo sintetizam polímeros extracelulares, como por exemplo o glucano, que irá propiciar um aumento em espessura do biofilme, facilitando seu desenvolvimento de forma mais estável (Fears et al., 2015). Dessa forma, as bactérias colonizadoras tardias se ligam as bactérias previamente ligadas aos polímeros extracelulares, dando continuidade ao processo de maturação do biofilme. Onde nas primeiras vinte e quatro horas a microbiota do biofilme é composta por bactérias gram-positivas do tipo estreptococos e bacilos (Marsh, 2010).

Nos pacientes ortodônticos é relatado uma maior formação de biofilme bacteriano com um pH significativamente mais baixo, onde esse pH ácido inibi o processo de remineralização do esmalte levando a sua desmineralização com conseqüente formação de lesões de mancha branca (LMB) e inflamação gengival (Amaechi et al., 2021). Dentre essas bactérias o *Streptococcus mutans* é capaz de modular a estrutura tridimensional e a população do biofilme pelos polímeros extracelulares produzidos, além de contribuir para diminuição do pH local pela produção de ácidos orgânicos como o ácido lático (Alqarn et al., 2023).

A desmineralização do esmalte é geralmente encontrada adjacente à superfície do bráquete, que se manifesta inicialmente como LMB. Sendo um sinal importante e prevalente nos tratamentos ortodônticos, podendo evoluir para lesões cavitadas e perda dental (Albhaisi *et al.*, 2020). Essas LMB já podem ser encontradas dentro das primeiras 4 semanas de tratamento ortodôntico com uso de aparelhos fixos, sendo estas de difícil diagnóstico, pois, a superfície do esmalte permanece intacta e não apresentam cavitação (Velusamy *et al.*, 2019).

Um estudo de meta-análise observou presença de LMB em 68,4% dos pacientes com tempo de tratamento ≥ 12 meses utilizando aparelhos ortodônticos fixos (Sundararaj *et al.*, 2015). Acrescenta-se ainda que quanto maior o tempo utilizando aparelho ortodôntico fixo maior a prevalência e extensão da atividade cáries (Pinto *et al.*, 2018). Além dos pacientes usuários de aparelhos ortodônticos fixos terem uma prevalência maior de LMB em relação aos pacientes em geral (Amaechi *et al.*, 2021).

Outro fator importante no aparecimento de LMB em pacientes ortodônticos de aparelhos fixos foi relatado por um estudo que indicou uma desmineralização da superfície do esmalte em razão de uma perda excessiva de minerais causada pelo condicionamento ácido, podendo levar a uma lesão iatrogênica (Knösel *et al.*, 2012).

Várias estratégias de prevenção e combate a formação de LMB são utilizadas em meio ao tratamento ortodôntico, onde algumas delas são: uso de produtos contendo flúor (Geiger *et al.*, 1988); colutórios de clorexidina (Ainamo 1977); dieta com menor potencial cariogênico (Aljohane e Alsaggaf 2020) e uso de produtos contendo cálcio remineralizante (Uy *et al.*, 2019). Todavia essas estratégias dependem da colaboração ativa dos pacientes, e por conta do público predominante de pacientes ortodônticos ser composto por crianças e adolescentes, essas estratégias por vezes são ineficazes no controle e inibição de lesões de mancha branca (Yi *et al.*, 2019).

Em face a esse problema foi proposto o uso de resinas ortodônticas que contenham propriedades antimicrobianas e que assim não dependam da colaboração ativa do paciente para seu propósito de inibição do aparecimento de LMB (Shafiei e Memarpour, 2012). Outra abordagem se dá pela substituição de sistemas adesivos, dispensando o uso ácido fosfórico 37%, e adotando sistemas auto condicionantes, que apesar de apresentarem um FRU inferior ao sistema convencional que utiliza condicionamento ácido, demonstrou força de adesão suficiente ao uso do aparelho ortodôntico fixo (Bhattacharjee *et al.*, 2021).

Alguns materiais com propriedades antimicrobianas foram experimentados ao longo dos anos como: brometo de metacrilóiloxidodecilmiridínio (MDPB) (Imazato, *et al.*, 2003); clorexidina (Zhang *et al.*, 2014; Kamran *et al.*, 2022); triclosan (Rathke *et al.*, 2010; de Paula *et al.*, 2019); fluoretos (Sonesson *et al.*, 2019) e prata (Azarsina *et al.*, 2013). Apesar da maioria desses estudos demonstrarem uma boa atividade antimicrobiana inicial, em especial contra o *S. mutans*, essa atividade inibitória decai ao longo do tempo e o material apresenta perda na propriedade mecânica de resistência de união em razão da incorporação de agentes antimicrobianos. (Imazato, *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2014; Kamran *et al.*, 2022; Rathke *et al.*, 2010; de Paula *et al.*, 2019; Sonesson *et al.*, 2019; Azarsina *et al.*, 2013).

A incorporação de partículas de Ag modificando os componentes das partículas de carga das resinas composta, têm sido uma estratégia adotada para ganho de propriedades antibacterianas. Pois a Ag é um metal que apresenta em seus íons a propriedade de toxicidade seletiva para microrganismos procarióticos com baixo efeito a células eucarióticas (Ahn *et al.*, 2009). Através dessa incorporação de partículas de Ag, obtém-se uma resina composta com potencial de liberação de íons de Ag em ambiente úmido, a exemplo de resinas que contêm antimicrobianos solúveis em sua composição da matriz orgânica. Todavia esse efeito inibidor do crescimento bacteriano se dá em um curto período (Imazato, 2003).

Estudos com nano partículas de prata (Ag) que comparam a eficácia de nanopartículas de Ag, óxido de zinco (ZnO) e ouro (Au) contra *S. mutans*, sugerem uma menor concentração da nano partícula de Ag necessária para inibir o desenvolvimento de colônias *S. mutans* em relação aos outros materiais com propriedades antimicrobianas comparados (Hérendez-Sierra *et al.*, 2008). Posteriormente foram realizados estudos que incorporaram nanopartículas de Ag em 0,5 e 1% em peso na resina composta Z250 (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA) com resultados satisfatórios contra *S. mutans* e *Lactobacillus spp* na superfície da resina (Azarsina *et al.*, 2013).

Em 2014 outro estudo modificou uma resina composta convencional pela incorporação de nanopartículas de prata de 50 nm nas concentrações de 0,3% e 0,6%, em peso, avaliando a atividade antibacteriana sobre *Streptococcus mutans* e *Lactobacillus acidophilus*, e propriedades como a rugosidade da superfície e resistência à compressão, foi observado que na resina com concentração de 0,3% de nanopartículas de Ag, foi capaz de inibir o crescimento de biofilmes sem perdas significativas na resistência à compressão e na rugosidade da superfície (das Neves *et al.*, 2014). Esses estudos foram corroborados em 2018 por uma revisão sistemática que comparando diversos agentes antimicrobianos incorporados a sistemas adesivos ortodônticos, destacou a nanopartícula de Ag com concentração de 250 a 500 ppm como um agente capaz de prevenir a desmineralização do esmalte e controle microbiano (de Almeida *et al.*, 2018).

Apesar do detalhado mecanismo da ação antimicrobiana das nanopartículas de Ag não estar completamente elucidado, têm-se sugerido que o oxigênio ativo formado pela ação catalítica da Ag, causa um dano estrutural a bactéria que leva a sua inativação pelo íon de Ag que desnatura proteínas e enzimas da bactéria (Ahn *et al.*, 2009). No entanto foi alertado que concentrações de nanopartículas de Ag superiores a 1500 ppm causam perda na propriedade mecânica de resistência de união (Degrazia *et al.*, 2016) além de produzirem uma superfície mais rugosa podendo interferir na adesão bacteriana (Ahn *et al.*, 2009).

O objetivo desse estudo busca comparar as propriedades mecânicas de uma resina experimental com silicato dopado de Ag com resinas comerciais, e avaliar se a adição de Ag como silicato dopado de Ag compromete as propriedades mecânicas da resina. Acreditamos que a adição da Ag não afeta as propriedades mecânicas da resina.

2 CAPÍTULO 1

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINA COMPOSTA ORTODÔNTICA
EXPERIMENTAL CONTENDO SILICATO DOPADO DE PRATA**

**MECHANICAL PROPERTIES OF EXPERIMENTAL ORTHODONTIC
COMPOSITE RESIN CONTAINING SILVER-DOPED SILICATE**

A ser submetido na revista Brazilian Dental Journal

Title page

Title

Mechanical properties of experimental orthodontic composite resin containing silver-doped silicate

Autores:

Luiz Bernardo da Mota Neto

Paulo Vitor Campos Ferreira

Felipe Silva Gomes

Alex Luiz Pozzobon Pereira

São Luís, Maranhão, Brasil, Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Odontologia

Autor correspondente:

Alex Luiz Pozzobon Pereira

Endereço: Faculdade de Odontologia, Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Avenida dos Portugueses, 1966, Cidade Universitária - Bacanga, 65085-580

São Luís, MA, Brasil.

e-mail: pereiraalp@hotmail.com

Abstract

This study aimed to compare the mechanical properties of an experimental orthodontic composite resin with Ag-doped silicate (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brazil) with the Transbond XT system (3M Unitek, Monrovia, CA, USA) and Biofix resin (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brazil). A total of 36 bovine teeth were selected and randomly split into 3 groups (n=12): Transbond group, Biofix group, and Exp Ag group. Brackets were attached using the same bonding protocol, only varying the resin according to each group. After 24 hours stored in distilled water in an oven at 36.5°C, the specimens were subjected to the shear bond strength (SBS) test for bracket detachment. The shear bond strength (SBS) was calculated as $SBS (MPa) = Force (N)/A (mm^2)$. Additionally, the specimens were then scanned by scanning electron microscope (SEM) at 50x magnification to assess the adhesive remnant index (ARI). 5 discs were crafted of each resin tested for surface microhardness and roughness analyses. It was observed that the Transbond group had higher SBS than the other groups ($P < 0.001$). There were significant differences in the ARI score between the groups ($P = 0.041$). Roughness was higher in the Transbond group ($P < 0.001$), followed by the Exp Ag group. The microhardness was higher in the Transbond group than other groups ($P < 0.001$), while the Biofix and Exp Ag groups did not show significant differences between them. The findings suggest that the experimental resin with Ag-doped silicate has mechanical properties suitable for orthodontic clinical practice, and the addition of Ag did not influence the mechanical properties of the resin. Future studies are required to assess the antimicrobial properties of the experimental resin with Ag-doped silicate studied.

Keywords: ORTHODONTICS, SILVER, COMPOSITE RESINS, DENTAL MATERIALS

Resumo

O objetivo deste estudo foi comparar as propriedades mecânicas de uma resina composta ortodôntica experimental com silicato dopado com Ag (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil) com o sistema Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA) e a resina Biofix (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil). Um total de 36 dentes bovinos foram selecionados e divididos aleatoriamente em 3 grupos (n=12): Grupo Transbond, Grupo Biofix e Grupo Exp Ag. Os braquetes foram fixados utilizando o mesmo protocolo de colagem, variando apenas a resina de acordo com cada grupo. Após 24 horas de armazenamento em água destilada em estufa a 36,5°C, os espécimes foram submetidos ao teste de resistência ao cisalhamento (SBS) para descolamento do braquete. A resistência de união ao cisalhamento (SBS) foi calculada como $SBS \text{ (MPa)} = \text{Força (N)} / A \text{ (mm}^2\text{)}$. Adicionalmente, os espécimes foram depois digitalizados por microscópio eletrônico de varrimento (SEM) com uma ampliação de 50x para avaliar o índice de remanescente adesivo (ARI). Foram trabalhados 5 discos de cada resina testada para análise da microdureza e rugosidade da superfície. Foi observado que o grupo Transbond apresentou SBS mais elevada do que os outros grupos ($P < 0,001$). Houve diferenças significativas no escore ARI entre os grupos ($P = 0,041$). A rugosidade foi maior no grupo Transbond ($P < 0,001$), seguido pelo grupo Exp Ag. A microdureza foi maior no grupo Transbond do que nos outros grupos ($P < 0,001$), enquanto os grupos Biofix e Exp Ag não mostraram diferenças significativas entre si. Os achados sugerem que a resina experimental com silicato dopado de Ag possui propriedades mecânicas adequadas para a prática clínica ortodôntica e a adição de Ag não influenciou as propriedades mecânicas da resina. Estudos futuros são necessários para avaliar as propriedades antimicrobianas da resina experimental com silicato dopado de Ag estudada.

Palavras- chave: ORTODONTIA, PRATA, RESINAS COMPOSTAS, MATERIAIS DENTÁRIOS

INTRODUÇÃO

O uso de aparelho ortodôntico fixo é o método tradicional e o mais utilizado para tratamento ortodôntico (1). Consiste na fixação de braquetes metálicos ou cerâmicos aos dentes, por meio de uma resina composta, geralmente associada a um sistema adesivo (2). Esses sistemas adesivos são classificados em detrimento da quantidade de etapas necessária para aplicação da resina composta, sendo estas: três passos com condicionamento ácido, *primer* e *bond*; dois passos *primer* e *bond*; e passo único *primer* + *bond* (3). Também há resinas ortodônticas que dispensam sistemas adesivos com *primer* e *bond*, sendo necessário apenas condicionamento ácido (4).

Para o bom andamento da terapia ortodôntica com aparelhos fixos, é fundamental o não descolamento de braquetes ao longo do tratamento, pois, isso implica em atrasos no tratamento, aumento de custos e aumento da insatisfação por pacientes em relação ao tempo total de tratamento (5). Evidências têm sugerido que há uma incidência de descolamento de braquetes de 0,6% a 28,3% ao longo do tratamento ortodôntico (6). Neste contexto, foi proposto que uma força de resistência de união (FRU) do braquete ao esmalte dentário com valores entre 5,9 MPa à 7,8 MPa seriam adequados para prevenir descolagens de braquetes na prática clínica (7).

Contudo outros parâmetros mecânicos também devem ser avaliados ao se experimentar uma resina composta, tais como a microdureza de superfície e rugosidade. A microdureza de superfície é uma característica que demonstra a capacidade do compósito em resistir à degradação mecânica pelos esforços mastigatórios, enquanto que a rugosidade apresenta grande influência na adesão e retenção de biofilme bacteriano (8). É observada uma maior formação de biofilme com Ph significativamente mais baixo, em pacientes ortodônticos, que pode levar a formação de lesões de mancha branca (LMB) (9). Já podendo serem observadas nas primeiras 4 semanas de tratamento ortodôntico com aparelhos fixos (10).

Em face a esse problema, estratégias de prevenção e combate a formação de LMB foram propostas para pacientes em tratamento ortodôntico como o uso de colutórios a base de clorexidina (11) e dietas com menor potencial cariogênico (12). Entretanto essas estratégias exigem colaboração ativa dos pacientes, que em sua maioria são compostas por crianças e adolescentes, se mostrando por vezes ineficazes (13). Dessa forma, estratégias alternativas foram propostas onde o paciente seria passivo, através da modificação dos sistemas adesivos e resinas utilizadas na fixação de acessórios ortodônticos, conferindo propriedades antimicrobianas aos materiais utilizados pela incorporação de: clorexidina (14); triclosan (15); fluoretos (16); e prata (Ag) (17).

A Ag tem demonstrado bons resultados na inibição do crescimento bacteriano, por sua propriedade de toxicidade seletiva a organismo procarióticos (17). Sendo importante ressaltar que altas concentrações de nanopartículas de Ag superiores a 1500 ppm, causam perda em propriedades mecânicas de resistência de união e podem produzir uma superfície mais rugosa (18). A hipótese levantada neste estudo é que a adição de silicato dopado de Ag com resinas comerciais não altera as propriedades mecânicas acrescentar propriedades antimicrobiana desejável para este tipo de material utilizado para fixação de braquetes.

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi comparar as propriedades mecânicas de uma resina composta ortodôntica experimental com silicato dopado de Ag com resinas comerciais, avaliando FRU, escore de índice remanescente de adesivo (IRA), microdureza de superfície e rugosidade. Esses achados podem auxiliar na investigação do efeito da incorporação de Ag na forma de silicato dopado de Ag na resina composta sobre as propriedades mecânicas na resina composta para uso na clínica ortodôntica.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenho de estudo e materiais utilizados

Foi conduzido um estudo in vitro para avaliar as propriedades mecânicas de uma resina composta ortodôntica experimental contendo silicato dopado de prata comparando com sistemas adesivos disponíveis no mercado. A fixação dos bráquetes metálicos foram realizadas em dentes incisivos bovinos hígidos. Os testes foram realizados em três grupos de materiais: grupo Transbond, grupo Biofix e grupo experimental (Exp Ag). A Tabela 1 sumariza as marcas comerciais, composição e modo de aplicação dos materiais utilizados neste estudo.

Tabela 1- Materiais utilizados no presente estudo*

Material e marca	Composição	Modo de aplicação
<i>Light cure adhesive primer</i> Transbond XT® (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bisfenol A diglicidil éter dimetacrilato (45-55%) 2. Trietileno glicol dimetacrilato (45-55%) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicação do ácido fosfórico 37% (10s) 2. Lavagem copiosa (10s) 3. Secagem à 20cm de distância 4. Aplicação vigorosa do primer/adesivo (10s) 5. Fotopolimerização (20s)
Transbond XT® (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quartzo silano-tratado 2. Bis-GMA 3. 2-hidroxietil éter 4. Silica silano-tratada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fotopolimerização do primer/adesivo (20s) 2. Aplicação da resina na base do bracket 3. Fotopolimerização (40s)
Biofix® (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Matriz de monômeros metacrílicos 2. Carga inorgânica 3. Fluoreto de sódio 4. Iniciadores 5. Estabilizadores 6. Pigmentos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fotopolimerização do primer/adesivo (20s) 2. Aplicação da resina na base do bracket 3. Fotopolimerização (40s)

Resina experimental (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Matriz de monômeros metacrílicos 2. Carga inorgânica 3. Fluoreto de sódio 4. Iniciadores 5. Estabilizadores 6. Pigmentos 7. Silicato dopado de prata 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fotopolimerização do primer/adeseivo (20s) 2. Aplicação da resina na base do bracket 3. Fotopolimerização (40s)
--	---	--

* Composição dos materiais de acordo com informações obtidas com os respectivos fabricantes

Preparo dos corpos de prova

Foram selecionados 36 dentes incisivos bovinos com coroas hígdas sem defeitos de esmalte, livre de trincas, fraturas ou descalcificações, dispensando assim submetimento ao conselho de ética, os dentes foram conservados em solução de água destilada e 0,1% de timol e armazenados em refrigerador à temperatura de 4°C até momento da utilização. Para confecção do corpo de prova, as raízes foram cortadas e a coroa incluída e fixada em cano PVC com diâmetro de 20x25 mm com auxílio de resina acrílica autopolimerizável incolor (VipiFlash; Vipi Produtos Odontológicos; Pirassununga, SP, Brasil) expondo a face vestibular do dente. Após presa total da resina acrílica o corpo de prova passou por processo de polimento e planificação de superfície, de acordo com a sequência de lixas em politriz metalográfica (Modelo Arobol Arotec S.A Indústria e Comércio; Cotia, SP, Brasil): 180 Mesh (3M ESPE) até o desgaste necessário (sem exposição de dentina). Posteriormente o polimento seguindo a sequência: 400 Mesh (3M ESPE) e 600Mesh (3M ESPE) por 40 segundos, 1200 Mesh (3M ESPE) por 60 segundos. Após polimento os corpos de prova foram levados ao estereomicroscópio (Modelo Cold Light Illuminator XZ-150WA; Mocus; Nanjing, China) para avaliação e os corpos que apresentaram exposição de dentina foram descartados. Após confecção dos corpos de prova os dentes foram armazenados em água destilada em geladeira a 4°C.

Grupos de estudo

Os 36 corpos de prova foram randomizados por sorteio simples e divididos em 3 grupos (n = 12), grupo Transbond, grupo Biofix e grupo experimental (Exp Ag). Sobre a superfície dos corpos de prova foi realizada profilaxia com pasta de pedra pomes e água, utilizando escovas tipo Robinson em baixa velocidade de rotação por 10 segundos, seguida da lavagem por 10 segundos com água e secagem com seringa tríplice isenta de óleo e umidade, pelo mesmo tempo, em seguida foi realizado condicionamento ácido do esmalte utilizando ácido fosfórico 37% (Condicionador Dental Gel; Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil) por 10 segundos, seguido de lavagem copiosa com spray de água da seringa tríplice por igual tempo, então feito a secagem com jatos de ar da seringa tríplice, seguido da aplicação do *light cure adhesive primer* Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA) com micro pincel sendo esfregado por 10 segundos, então fotopolimerização (1200 mW/cm² Rádi-cal, SDi, Victoria, Austrália) por 20 segundos, sendo este tempo o recomendado pelo fabricante para colagem de bráquetes metálicos. Os bráquetes metálico (Eurodonto Orthodontic products; Curitiba, PR, Brasil) foram colados utilizando a resina de acordo com cada grupo.

Grupo Transbond: a resina Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA) foi devidamente acamada no bráquete, esse bráquete foi posicionado e pressionado contra a superfície do dente com pinça para bráquetes os excessos foram removidos com auxílio de uma pinça exploradora nº 5, após remoção completa dos excessos cada face do bráquete foi fotopolimerizada (1200 mW/cm² Radium-cal, SDi, Victoria, Austrália) por 10 segundos (total = 40 segundos) sendo finalizado a etapa de colagem do bráquete.

Grupo Biofix: a resina Biofix (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil) foi devidamente acamada no bráquete, esse bráquete foi posicionado e pressionado contra a superfície do dente com pinça para bráquetes os excessos foram removidos com auxílio de uma pinça exploradora nº 5, após remoção completa dos excessos cada face do bráquete foi fotopolimerizada (1200 mW/cm² Radium-cal, SDi, Victoria, Austrália) por 10 segundos (total = 40 segundos) sendo finalizado a etapa de colagem do bráquete.

Grupo Exp Ag: a resina experimental com silicato dopado de Ag (Biodinâmica; Ibiporã, PR, Brasil) foi devidamente acamada no bráquete, esse bráquete foi posicionado e pressionado contra a superfície do dente com pinça para bráquetes os excessos foram removidos com auxílio de uma pinça exploradora nº 5, após remoção completa dos excessos cada face do bráquete foi fotopolimerizada (1200 mW/cm² Radium-cal, SDi, Victoria, Austrália) por 10 segundos (total = 40 segundos) sendo finalizado a etapa de colagem do bráquete.

Resistência ao cisalhamento

Após colagem dos bráquetes os dentes foram armazenados em água destilada e colocados em estufa com temperatura de 37°C, por um período de 24 horas, em seguida, os 36 corpos de prova foram testados na máquina universal de testes (Modelo 3342 Instron; São José dos Pinhais, PR, Brasil) com velocidade de deslocamento de 1mm/min. A ponta da faca foi colocada perpendicular a porção oclusal da base do braquete, segundo figura 1, criando uma força de cisalhamento na direção ocluso-gengival carregando o espécime até a falha. A força de resistência de união (FRU) foi calculada pela seguinte fórmula: $FRU (Mpa) = \text{Força (N)} / A(\text{mm}^2)$, onde N é igual a força em Newtons obtidos no ensaio de cisalhamento e A é a área da superfície da base do braquete de 9,27 mm². O ensaio de resistência ao cisalhamento foi conduzido pelo pesquisador 2, previamente calibrado.

Figura 1. Ensaio de cisalhamento.



Fonte: autoria própria

Índice remanescente de adesivo (IRA)

Após a descolagem dos bráquetes no ensaio de resistência ao cisalhamento os corpos de prova foram submetidos a análise do escore IRA que foi realizado utilizando um microscópio de varredura eletrônica (Hitachi TM 3030, Japão) no aumento de 50x. Onde a superfície do esmalte foi observada, e o remanescente de adesivo foi classificado de acordo com os escores propostos por Artun e Bergland (19):

Escore 0: sem adesivo remanescente na área de colagem no esmalte, segundo figura 2;

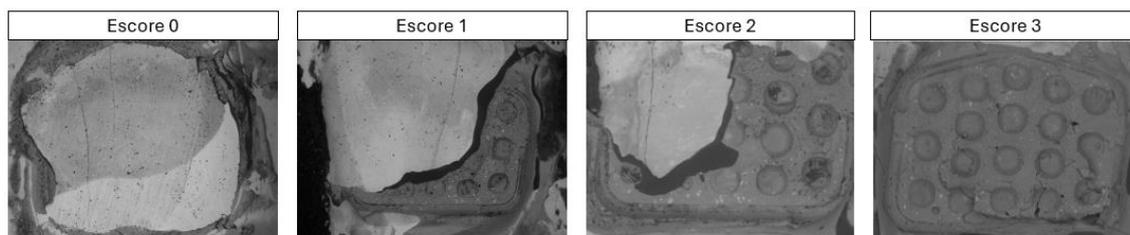
Escore 1: presença de adesivo em menos da metade da superfície da área de colagem no esmalte, segundo figura 3;

Escore 2: presença de adesivo em mais da metade da superfície da área de colagem no esmalte, segundo figura 4;

Escore 3: Todo adesivo permaneceu na área de colagem no esmalte, segundo figura 5;

A coleta de dados do escore IRA foi realizado pelos pesquisadores 1 e 2, nos casos de divergência o pesquisador 3 foi utilizado como critério de desempate, segundo figura 6;

Figura 2.



Fonte: autoria própria

Rugosidade (Ra)

Foram utilizados 15 discos (5mm de diâmetro e 2mm de espessura), sendo 5 de cada resina testada nesse estudo: resina Transbond XT, resina Biofix e resina experimental com silicato dopado de Ag (total = 15) foram confeccionados utilizando uma matriz de silicone. Onde os moldes foram preenchidos com resina, recobertos por uma tira de poliéster e com ajuda de uma lamínula de vidro foi pressionada sobre a tira de poliéster, assim permitindo uma melhor acomodação e extravasamento da resina, a fim de obter uma superfície plana e isenta de bolhas, em seguida os corpos de prova foram fotopolimerizados por 20 segundos (1200 mW/cm² - Radii-cal, SDi, Victoria, Austrália). A potência do fotopolimerizador foi aferida antes da confecção dos corpos de prova, por um radiômetro (Demetron LC Curing Light; Kerr, CA, EUA). Após a fotopolimerização, os discos foram extraídos da matriz e tiveram os excessos removidos com uma lâmina de bisturi 15c, sendo então armazenados a seco por 24 horas em temperatura ambiente.

Após esse período a mensuração quantitativa da rugosidade superficial foi realizada pelo rugosímetro digital SJ 301 (Mitutoyo, Kawasaki, Kanagawa, Japão), que foi calibrado conforme as recomendações do fabricante, sendo então realizada três leituras paralelas aleatórias na porção central de cada corpo de prova, seguindo a mesma direção e sentido. O rugosímetro conta com uma ponta diamantada (0,5mm de raio) com velocidade de deslocamento de 0,25mm/s. Sendo programada para percorrer uma distância de 4mm, com comprimento de onda de 0,8mm e ajuste de rugosidade superficial média em unidade de micrômetros (μm).

Microdureza de superfície (KHN)

Foram utilizados 15 discos (5mm de diâmetro e 2mm de espessura), sendo 5 de cada resina testada nesse estudo: resina Transbond XT, resina Biofix e resina experimental com silicato dopado de Ag (total = 15) foram confeccionados utilizando uma matriz de silicone. Onde os moldes foram preenchidos com as resinas, recobertos por uma tira de poliéster sendo fotopolimerizados por 20 segundos (1200 mW/cm^2 - Radium-cal, SDi, Victoria, Austrália). A potência do fotopolimerizador foi aferida antes da confecção dos corpos de prova, por um radiômetro (Demetron LC Curing Light; Kerr, CA, EUA). Após a fotopolimerização, os discos foram extraídos da matriz e tiveram os excessos removidos com uma lâmina de bisturi 15c, sendo então armazenados a seco por 24 horas em temperatura ambiente.

Sendo então submetidos ao teste de microdureza Knoop, com carga de 10gf por 15 segundos, onde cada corpo de prova foi submetido a três edentações (HMV-2, Shimadzu, Quioto, Japão), segundo figura 6. O número de dureza de Knoop (KHN), é obtido dividindo a carga aplicada sobre a área projetada em mm^2 .

Figura 3. Edentação Knoop



Fonte: autoria própria

Análise estatística

A análise estatística da força de resistência de união, rugosidade e microdureza de superfície, foram realizadas pelo programa Jamovi (The jamovi project 2021. Jamovi Version 1.6, Sydney, Austrália). A estatística descritiva foi realizada com o cálculo das médias, medianas, desvio padrão e amplitude interquartílica (AIQ). A normalidade e a

homogeneidade das variâncias foram aferidas pelos testes Shapiro-Wilk e Levene. Após este passo, o teste ANOVA seguido por Tukey ou Kruskal-Wallis seguido pelo teste post-hoc Dunn foi selecionado para a análise comparativa. A análise do escore IRA foi realizada com o teste exato de Fisher. Foi adotado o nível de significância a 5% para todos os testes.

O cálculo do poder da amostra foi realizado utilizando os recursos do software G*Power 3.1.9.7 (Kiel University, Kiel, Alemanha). Foram utilizados os seguintes parâmetros: o η^2 parcial de 0.800 obtido da variável dependente entre os 3 grupos estudados, tamanho do efeito de 2.00, nível de significância de 5%. Dessa forma o tamanho de 12 unidades foi suficiente para obter um poder $\geq 80\%$.

RESULTADOS

Resistência ao cisalhamento

Os resultados mostraram diferenças significantes entre os grupos (ANOVA, $P < 0,001$). Apresentando média e desvio padrão(dp) do FRU (MPa) iguais a $14,5 \pm 3,6$ no grupo Transbond; $8,9 \pm 0,9$ no grupo Biofix; e $9,1 \pm 0,8$ no grupo Exp Ag. O teste post-hoc de comparações múltiplas Tukey mostrou que o grupo Transbond apresentou valores de FRU estatisticamente mais elevados que os grupos Biofix e Exp Ag ($P < 0,001$), entretanto não houve diferenças significantes na comparação entre os grupos Biofix e Exp Ag ($p = 0,959$), segundo gráfico 1.

Escore IRA

O teste exato de Fisher mostrou diferença significantes entre os grupos ($P = 0,041$), onde apenas o grupo Biofix obteve escores 3, o grupo Transbond apresentou apenas escores 1 e 2 e o grupo Exp Ag foi o grupo que mais apresentou escores 0, segundo gráfico 2.

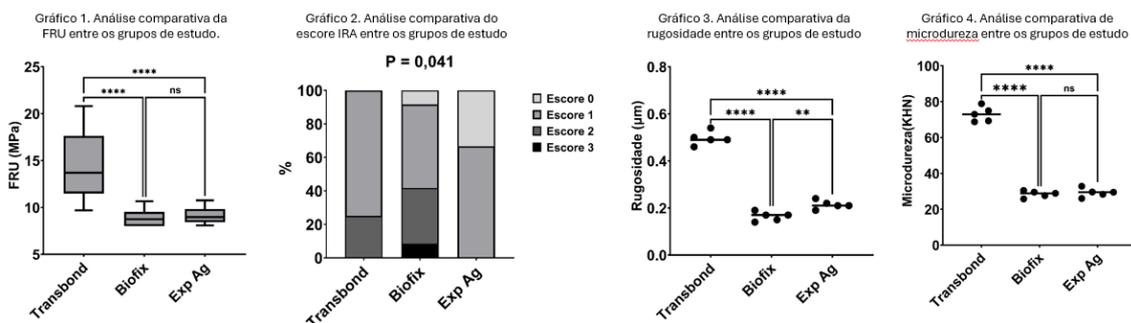
Rugosidade (Ra)

Os resultados mostraram diferenças significantes entre os grupos (Kruskal-Wallis, $P = 0,002$). Apresentando medianas e amplitude inter-quartilica (AIQ) iguais a ($0,49 \mu\text{m}$ e $0,01 \mu\text{m}$) no grupo Transbond; ($0,17 \mu\text{m}$ e $0,02 \mu\text{m}$) no grupo Biofix; ($0,21 \mu\text{m}$ e $0,01 \mu\text{m}$) no grupo Exp Ag. Sendo que o grupo Transbond apresentou a maior rugosidade de superfície dentre as resinas testadas. O teste post-hoc de comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, demonstrou diferença nas comparações entre os grupos, segundo gráfico 3.

Microdureza (KHN)

Os resultados mostraram diferenças significantes entre os grupos (Kruskal-Wallis, $P = 0,009$). Apresentando medianas e AIQ iguais a (73 KHN e AIQ 5,67 KHN) no grupo Transbond; (28,9 KHN e AIQ 1,97 KHN) no grupo Biofix; e (29,5 KHN e AIQ 1,3 KHN) no grupo Exp Ag. Sendo o grupo Transbond apresentou a maior dureza dentre as resinas testadas. O teste post-hoc de comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, mostrou que o grupo Transbond apresentou valores de KHN estatisticamente mais

elevados que os grupos Biofix e Exp Ag ($p = 0,02$) mas sem diferença estatística na comparação entre os grupos Biofix e Exp Ag ($p = 0,86$), segundo gráfico 4.



Fonte: autoria própria

DISCUSSÃO

Os principais achados do presente estudo, sugerem que o grupo Transbond atingiu os valores de FRU estabelecidos na literatura (7,20,21). Enquanto os grupos Biofix e Exp Ag apesar de apresentarem valores de FRU menores que o grupo Transbond, também apresentaram valores superiores propostos pela literatura (7). Desta forma, foi demonstrado que, todos os materiais avaliados superaram os valores de referência estabelecidos na literatura, corroborando sua eficácia.

O índice remanescente de adesivo (IRA), é um escore classificado de 0 a 3 (19). Segundo alguns estudos o escore IRA estaria diretamente associado a FRU, quanto maior a FRU maior é o escore IRA, assim o escore 3 que representa 100% do adesivo remanescente no esmalte. Este achado pode ser interpretado como o escore desejável para um material de fixação a estrutura do esmalte dental, além de indicar um alto valor de FRU indicaria que o braquete foi removido sem causar dano algum ao substrato dental, enquanto o escore 0 estaria associado a uma falha de adesão, e baixos valores de FRU (22).

Por outro lado, independentemente dos grupos avaliados nesse trabalho, não foi observada uma relação direta do escore IRA com valores de FRU, no qual a maioria dos corpos de prova testados em todos os grupos observados, obtivemos o escore 1. Outros estudos obtiveram altos valores de FRU utilizando o sistema Transbond XT com maior frequência de escores 0, 1, 2 ou 3 demonstrando grande heterogeneidade (22). Isso pode ser explicado pela falta de padronização dos ensaios mecânicos para aquisição de dados referentes a FRU e posterior observação do escore IRA. Alguns destes fatores não padronizados que afetam os resultados obtidos em estudos *in vitro* são: tipos de dente (humano ou bovino); superfície de adesão (vestibular ou lingual); composição química do esmalte; formato da base do braquete; contaminação da superfície de colagem; e tempo de fotopolimerização, tornando difícil a comparação dos resultados obtidos com estudos anteriores (23).

A microdureza de superfície tem sido positivamente relacionada à resistência mecânica do conteúdo de carga inorgânica de compósitos, que contenham altos níveis de carga inorgânica, demonstrando conferir uma maior FRU. Assim uma maior microdureza

de superfície pode ser considerada como um fator secundário de alto conteúdo de carga de inorgânica e força de união (24). Isto pode indicar que o melhor desempenho do grupo Transbond em relação aos outros grupos, Biofix e Exp Ag, em relação aos valores de FRU superiores é auxiliando por apresentar microdureza de superfície igualmente mais elevadas aos outros grupos, Biofix e Exp Ag.

Em relação a rugosidade (Ra), estudos apontam que valores que excedam a 0,2 μm são considerados críticos ao favorecimento de adesão bacteriana (25). No presente estudo o grupo Transbond apresentou os maiores valores de FRU, microdureza e Ra, seguido pelo grupo Exp Ag que apresentou valores próximos ao limite desejável de 0,2 μm , onde apenas o grupo Biofix apresentou valores de Ra < 0,2 μm (8). Portanto, concluiu-se que, enquanto o grupo Biofix foi o único a apresentar valores de rugosidade (Ra) abaixo do limiar crítico de 0,2 μm , os grupos Transbond e Exp Ag, embora superiores, ainda se situam em um patamar que exige atenção devido ao potencial favorecimento da adesão bacteriana.

Apesar do grupo Exp Ag possuir valores de FRU inferiores ao grupo controle Transbond, não foi observado diferença estatística nos valores FRU e KHN em relação ao grupo Biofix que possui uma resina com composição semelhante a resina experimental com silicato dopado de prata. Todos os valores de FRU do grupo Exp Ag foram > 7,8 MPa, sugerindo ser uma resina composta potencialmente adequada a prática clínica ortodôntica e que adição de Ag não influenciou nas propriedades mecânicas da resina.

Esses achados têm implicações significativas, pois, permitem prosseguir com testes sobre essa resina experimental que pela adição de Ag pode ter um potencial efeito antimicrobiano, podendo tornar-se uma excelente opção clínica para colagem de bráquetes metálicos ou cerâmicos no tratamento ortodôntico com aparelhos fixos, ajudando a prevenir a formação de lesões de mancha branca, tão prevalentes em pacientes ortodônticos de aparelhos fixos. Recomenda-se mais pesquisas laboratoriais com dentes humanos e processo de termociclagem para simular condições mais próximas às encontradas na cavidade oral humana. Portanto, a continuidade das pesquisas, especialmente em condições laboratoriais mais próximas da realidade clínica, é crucial para validar a eficácia antimicrobiana e a durabilidade dessa resina experimental enriquecida com prata, potencializando seu uso seguro e eficaz na ortodontia.

Agradecimentos

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Ensino Superior- CAPES, pela bolsa de mestrado concedida, que proporcionou o cumprimento desse trabalho e a empresa Biodinâmica, pelo fornecimento de parte dos materiais utilizados nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Jiang Q, Li J, Mei L, Du J, Levrini L, Abbate GM, Li H. Periodontal health during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: A meta-analysis. *J Am Dent Assoc.* 2018 Aug;149(8):712-720.e12. doi: 10.1016/j.adaj.2018.04.010. Epub 2018 Jun 18. PMID: 29921415.
2. Viwattanatipa N, Jermwiwatkul W, Chintavalakorn R, Nanthavanich N. The effect of different surface preparation techniques on the survival probabilities of orthodontic brackets bonded to nanofill composite resin. *J Orthod* 2010;37:162–73.
3. Bedran-Russo A, Leme-Kraus AA, Vidal CMP, Teixeira EC. An Overview of Dental Adhesive Systems and the Dynamic Tooth-Adhesive Interface. *Dent Clin North Am.* 2017 Oct;61(4):713-731. doi: 10.1016/j.cden.2017.06.001. PMID: 28886765.
4. Fonseca-Silva, Thiago et al. Comparative Analysis of Shear Bond Strength of Steel and Ceramic Orthodontic Brackets Bonded with Six Different Orthodontic Adhesives. *Int. J. Odontostomat., Temuco*, v. 14, n. 4, p. 658-663, dic. 2020. Disponible en <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-381X2020000400658&lng=es&nrm=iso>. accedido en 27 sept. 2023. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2020000400658>.
5. Dos Santos AL, Wambier LM, Wambier DS, Moreira KM, Imperato JC, Chibinski AC. Orthodontic bracket bonding techniques and adhesion failures: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Exp Dent.* 2022 Sep 1;14(9):e746-e755. doi: 10.4317/jced.59768. PMID: 36158772; PMCID: PMC9498638.
6. Almosa N, Zafar H. Incidence of orthodontic brackets detachment during orthodontic treatment: a systematic review. *Pak J Med Sci.* 2018; 34: 744-750.
7. Reynolds IR. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod.* 1975;2(3):171-8. doi: 10.1080/0301228x.1975.11743666.
8. Abdelaziz KM, Mir S, Khateeb SU, Baba SM, Alshahrani SS, Alshahrani EA, Alsafi ZA. Influences of Successive Exposure to Bleaching and Fluoride Preparations on the Surface Hardness and Roughness of the Aged Resin Composite Restoratives. *Medicina (Kaunas).* 2020 Sep 16;56(9):476. doi: 10.3390/medicina56090476. PMID: 32947937; PMCID: PMC7557809.
9. Amaechi BT, McGarrell B, Luong MN, Okoye LO, Gakunga PT. Prevention of white spot lesions around orthodontic brackets using organoselenium-containing antimicrobial enamel surface sealant. *Heliyon.* 2021 Mar 12;7(3):e06490. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06490. PMID: 33748508; PMCID: PMC7966844.
10. Velusamy P, Shimada Y, Kanno Z, Ono T, Tagami J. Optical evaluation of enamel white spot lesions around orthodontic brackets using swept-source optical coherence tomography (SS-OCT): An in vitro study. *Dent Mater J.* 2019 Feb 8;38(1):22-27. doi: 10.4012/dmj.2017-262. Epub 2018 Aug 29. PMID: 30158348.

11. Ainamo J. Control of plaque by chemical agents. *J Clin Periodontol.* 1977 Dec;4(5):23-35. doi: 10.1111/j.1600-051x.1977.tb00049.x. PMID: 275277.
12. Aljohani SR, Alsaggaf DH. Adherence to Dietary Advice and Oral Hygiene Practices Among Orthodontic Patients. *Patient Prefer Adherence.* 2020 Oct 20;14:1991-2000. doi: 10.2147/PPA.S277034. PMID: 33116442; PMCID: PMC7586054.
13. Yi J, Dai Q, Weir MD, Melo MAS, Lynch CD, Oates TW, Zhang K, Zhao Z, Xu HHK. A nano-CaF₂-containing orthodontic cement with antibacterial and remineralization capabilities to combat enamel white spot lesions. *J Dent.* 2019 Oct;89:103172. doi: 10.1016/j.jdent.2019.07.010. Epub 2019 Jul 18. PMID: 31326528.
14. Kamran MA, Alshahrani A, Alnazeh AA, Udeabor SE, Qasim M, Alshahrani I. Ultrastructural and physicochemical characterization of pH receptive chlorhexidine-loaded poly-L-glycolic acid-modified orthodontic adhesive. *Microsc Res Tech.* 2022 Mar;85(3):996-1004. doi: 10.1002/jemt.23968. Epub 2021 Oct 30. PMID: 34716725.
15. De Paula AB, Taparelli JR, Alonso RCB, Innocentini-Mei LH, Puppini-Rontani RM. Synthesis and application of triclosan methacrylate monomer in resin composites. *Clin Oral Investig.* 2019 Feb;23(2):965-974. doi: 10.1007/s00784-018-2521-z. Epub 2018 Jun 18. PMID: 29911287.
16. Sonesson M, Brechter A, Abduraheem S, Lindman R, Twetman S. Fluoride varnish for the prevention of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2020 Jun 23;42(3):326-330. doi: 10.1093/ejo/cjz045. PMID: 31197364.
17. Azarsina M, Kasraei S, Yousefi-Mashouf R, Dehghani N, Shirinzad M. The Antibacterial Properties of Composite Resin Containing Nanosilver against *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus*. Patil SG, editor. *J Contemp Dent Pract.* 2013;14(6):1014–8.
18. Degrazia FW, Leitune VCB, Garcia IM, Arthur RA, Samuel SMW, Collares FM. 2016. Effect of silver nanoparticles on the physicochemical and antimicrobial properties of an orthodontic adhesive. *J Appl Oral Sci.* 24:404–410.
19. Artun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod.* 1984 Apr;85(4):333–40.
20. Finnema KJ, Özcan M, Post WJ, Ren Y, Dijkstra PU. In-vitro orthodontic bond strength testing: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010 May;137(5):615–22.e3.
21. Arora N, Al-Jearah M. Comparative evaluation of nano-filled and conventional adhesives for bonding of molar tubes. *Bioinformation.* 2021 Apr 30;17(4):492-499. doi: 10.6026/97320630017492. PMID: 34602776; PMCID: PMC8450150.
22. Faria-Júnior ÉM, Guiraldo RD, Berger SB, Correr AB, Correr-Sobrinho L, Contreras EF, Lopes MB. In-vivo evaluation of the surface roughness and morphology of enamel after bracket removal and polishing by different techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147:324- 329. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.10.033.

23. Fonseca-Silva, Thiago et al. Comparative Analysis of Shear Bond Strength of Steel and Ceramic Orthodontic Brackets Bonded with Six Different Orthodontic Adhesives. *Int. J. Odontostomat.*, Temuco, v. 14, n. 4, p. 658-663, dic. 2020. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-381X2020000400658&lng=es&nrm=iso. accedido en 27 sept. 2023. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2020000400658>.
24. Amato PA, Martins RP, dos Santos Cruz CA, Capella MV, Martins LP. Time reduction of light curing: Influence on conversion degree and microhardness of orthodontic composites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014 Jul;146(1):40-6. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.03.022. PMID: 24974997.
25. Albarran-Martínez L, Rodríguez-Vilchis LE, Contreras-Bulnes R, Moyaho-Bernal MLA, Teutle-Coyotecatl B. Effect of different industrialized acid beverages on the surface roughness of flowable composite resins: *in vitro* study. *J Clin Pediatr Dent.* 2023 Sep;47(5):152-161. doi: 10.22514/jocpd.2023.065. Epub 2023 Sep 3. PMID: 37732449.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nesse estudo *in vitro* aqui apresentado, nossos resultados destacam valores satisfatórios de FRU da resina experimental com silicato dopado de prata, pequena diferença na rugosidade e ausência de diferenças na microdureza de superfície quando compara a resina Biofix que possui composição semelhante.

Esses achados têm implicações significativas, pois, permitem prosseguir os testes sobre essa resina experimental que pela adição de Ag pode ter um potencial efeito antimicrobiano, tornando-se uma excelente opção clínica para colagem de bráquetes metálicos ou cerâmicos no tratamento ortodôntico com aparelhos fixos, ajudando a prevenir a formação de lesões de mancha branca, tão prevalentes em pacientes ortodônticos de aparelhos fixos.

Por fim esse estudo *in vitro* enfatiza que outras metodologias utilizando dentes humanos e termociclagem para simular o envelhecimento da resina e condições bucais sejam necessários para conferir se as propriedades mecânicas de fato não sofrem alterações que comprometam a eficácia dessa resina experimental.

REFERÊNCIAS:

ABDELAZIZ KM, MIR S, KHATEEB SU, BABA SM, ALSHAHRANI SS, ALSHAHRANI EA, ALSAFI ZA. Influences of Successive Exposure to Bleaching and Fluoride Preparations on the Surface Hardness and Roughness of the Aged Resin Composite Restoratives. *Medicina (Kaunas)*. 2020 Sep 16;56(9):476. doi: 10.3390/medicina56090476. PMID: 32947937; PMCID: PMC7557809.

AINAMO J. Control of plaque by chemical agents. *J Clin Periodontol*. 1977 Dec;4(5):23-35. doi: 10.1111/j.1600-051x.1977.tb00049.x. PMID: 275277.

AHN SJ, LEE SJ, KOOK JK, LIM BS. Experimental antimicrobial orthodontic adhesives using nanofillers and silver nanoparticles. *Dent Mater*. 2009 Feb;25(2):206-13. doi: 10.1016/j.dental.2008.06.002. Epub 2008 Jul 15. PMID: 18632145.

ALBARRAN-MARTÍNEZ L, RODRÍGUEZ-VILCHIS LE, CONTRERAS-BULNES R, MOYAHU-BERNAL MLA, TEUTLE-COYOTECATL B. Effect of different industrialized acid beverages on the surface roughness of flowable composite resins: *in vitro* study. *J Clin Pediatr Dent*. 2023 Sep;47(5):152-161. doi: 10.22514/jocpd.2023.065. Epub 2023 Sep 3. PMID: 37732449.

ALBHAISI Z, AL-KHATEEB SN, ABU ALHAIJA ES. Enamel demineralization during clear aligner orthodontic treatment compared with fixed appliance therapy, evaluated with quantitative light-induced fluorescence: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020 May;157(5):594-601. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.01.004. PMID: 32354432.

ALJOHANI SR, ALSAGGAF DH. Adherence to Dietary Advice and Oral Hygiene Practices Among Orthodontic Patients. *Patient Prefer Adherence*. 2020 Oct 20;14:1991-2000. doi: 10.2147/PPA.S277034. PMID: 33116442; PMCID: PMC7586054.

ALMOSA N, ZAFAR H. Incidence of orthodontic brackets detachment during orthodontic treatment: a systematic review. *Pak J Med Sci*. 2018; 34: 744-750.

ALQARNID, NAKAJIMA M, TAGAMI J, et al. (April 25, 2023) Study of Streptococcus mutans in Early Biofilms at the Surfaces of Various Dental Composite Resins. *Cureus* 15(4): e38090. DOI 10.7759/cureus.38090

AMAECHE BT, MCGARRELL B, LUONG MN, OKOYE LO, GAKUNGA PT. Prevention of white spot lesions around orthodontic brackets using organoselenium-containing antimicrobial enamel surface sealant. *Heliyon*. 2021 Mar 12;7(3):e06490. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06490. PMID: 33748508; PMCID: PMC7966844.

AMATO PA, MARTINS RP, DOS SANTOS CRUZ CA, CAPELLA MV, MARTINS LP. Time reduction of light curing: Influence on conversion degree and microhardness of orthodontic composites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014 Jul;146(1):40-6. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.03.022. PMID: 24974997.

- ARORA N, AL-JEARAH M. Comparative evaluation of nano-filled and conventional adhesives for bonding of molar tubes. *Bioinformation*. 2021 Apr 30;17(4):492-499. doi: 10.6026/97320630017492. PMID: 34602776; PMCID: PMC8450150.
- ARTUN J, BERGLAND S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod*. 1984 Apr;85(4):333-40.
- AZARSINA M, KASRAEI S, YOUSEFI-MASHOUF R, DEGHANI N, SHIRINZAD M. The Antibacterial Properties of Composite Resin Containing Nanosilver against *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus*. Patil SG, editor. *J Contemp Dent Pract*. 2013;14(6):1014-8.
- BHATTACHARJEE D, SHARMA K, SAHU R, NEHA K, KUMARI A, RAI A. Comparative Evaluation of Shear Bond Strength of Brackets Bonded with self Etch Primer/Adhesive and Conventional Etch/Primer and Adhesive System. *J Pharm Bioallied Sci*. 2021 Nov;13(Suppl 2):S1168-S1173. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_412_21. Epub 2021 Nov 10. PMID: 35017950; PMCID: PMC8686967.
- BEDRAN-RUSSO A, LEME-KRAUS AA, VIDAL CMP, TEIXEIRA EC. An Overview of Dental Adhesive Systems and the Dynamic Tooth-Adhesive Interface. *Dent Clin North Am*. 2017 Oct;61(4):713-731. doi: 10.1016/j.cden.2017.06.001. PMID: 28886765.
- CHEN C, NIU LN, XIE H, ZHANG ZY, ZHOU LQ, JIAO K, CHEN JH, PASHLEY DH, TAY FR. Bonding of universal adhesives to dentine--Old wine in new bottles? *J Dent*. 2015 May;43(5):525-36. doi: 10.1016/j.jdent.2015.03.004. Epub 2015 Mar 20. PMID: 25797702.
- CONDÒ R, MAMPIERI G, CIOFFI A, CATALDI ME, FRUSTACI I, GIANCOTTI A, et al. Physical and chemical mechanisms involved in adhesion of orthodontic bonding composites: in vitro evaluations. *BMC Oral Health*. 2021; 21: 1-2.
- DAS NEVES PB, AGNELLI JA, KURACHI C, DE SOUZA CW. Addition of silver nanoparticles to composite resin: effect on physical and bactericidal properties in vitro. *Braz Dent J*. 2014;25(2):141-5. doi: 10.1590/0103-6440201302398. PMID: 25140719.
- De Almeida CM, da Rosa WLO, Meereis CTW, de Almeida SM, Ribeiro JS, da Silva AF, Lund RG. Efficacy of antimicrobial agents incorporated in orthodontic bonding systems: a systematic review and meta-analysis. *J Orthod*. 2018 Jun;45(2):79-93. doi: 10.1080/14653125.2018.1443872. Epub 2018 Mar 5. PMID: 29504867.
- DEGRAZIA FW, LEITUNE VCB, GARCIA IM, ARTHUR RA, SAMUEL SMW, COLLARES FM. 2016. Effect of silver nanoparticles on the physicochemical and antimicrobial properties of an orthodontic adhesive. *J Appl Oral Sci*. 24:404-410.
- DE PAULA AB, TAPARELLI JR, ALONSO RCB, INNOCENTINI-MEI LH, PUPPIN-RONTANI RM. Synthesis and application of triclosan methacrylate monomer in resin composites. *Clin Oral Investig*. 2019 Feb;23(2):965-974. doi: 10.1007/s00784-018-2521-z. Epub 2018 Jun 18. PMID: 29911287.
- DOS SANTOS AL, WAMBIER LM, WAMBIER DS, MOREIRA KM, IMPARATO JC, CHIBINSKI AC. Orthodontic bracket bonding techniques and adhesion failures: A

systematic review and meta-analysis. *J Clin Exp Dent*. 2022 Sep 1;14(9):e746-e755. doi: 10.4317/jced.59768. PMID: 36158772; PMCID: PMC9498638.

FARIA-JÚNIOR ÉM, GUIRALDO RD, BERGER SB, CORRER AB, CORRER-SOBRINHO L, CONTRERAS EF, LOPES MB. In-vivo evaluation of the surface roughness and morphology of enamel after bracket removal and polishing by different techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2015;147:324- 329. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.10.033.

FEARS KP, GONZALEZ-BEGNE M, LOVE CT, DAY DE, KOO H. Surface-induced changes in the conformation and glucan production of glucosyltransferase adsorbed on saliva-coated hydroxyapatite. *Langmuir*. 2015 Apr 28;31(16):4654-62. doi: 10.1021/la504461h. Epub 2015 Apr 13. PMID: 25867796.

FINNEMA KJ, ÖZCAN M, POST WJ, REN Y, DIJKSTRA PU. In-vitro orthodontic bond strength testing: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 May;137(5):615–22.e3.

FONSECA-SILVA, Thiago et al. Comparative Analysis of Shear Bond Strength of Steel and Ceramic Orthodontic Brackets Bonded with Six Different Orthodontic Adhesives. *Int. J. Odontostomat., Temuco*, v. 14, n. 4, p. 658-663, dic. 2020. Disponible en <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-381X2020000400658&lng=es&nrm=iso>. accedido en 27 sept. 2023. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2020000400658>.

GEIGER A M, GORELICK L, GWINNETT A J, GRISWOLD PG. The effect of a fluoride program on white spot formation during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1988 Jan;93(1):29–37.

HERNÁNDEZ-SIERRA JF, RUIZ F, PENA DC, MARTÍNEZ-GUTIÉRREZ F, MARTÍNEZ AE, GUILLÉN ADE J, TAPIA-PÉREZ H, CASTAÑÓN GM. The antimicrobial sensitivity of *Streptococcus mutans* to nanoparticles of silver, zinc oxide, and gold. *Nanomedicine*. 2008 Sep;4(3):237-40. doi: 10.1016/j.nano.2008.04.005. Epub 2008 Jun 20. PMID: 18565800.

IMAZATO S, EBI N, TAKAHASHI Y, KANEKO T, EBISU S, RUSSELL RR. Antibacterial activity of bactericide-immobilized filler for resin-based restoratives. *Biomaterials*. 2003 Sep;24(20):3605-9. doi: 10.1016/s0142-9612(03)00217-5. PMID: 12809790.

JIANG Q, LI J, MEI L, DU J, LEVRINI L, ABBATE GM, LI H. Periodontal health during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: A meta-analysis. *J Am Dent Assoc*. 2018 Aug;149(8):712-720.e12. doi: 10.1016/j.adaj.2018.04.010. Epub 2018 Jun 18. PMID: 29921415.

KAMRAN MA, ALSHAHRANI A, ALNAZEH AA, UDEABOR SE, QASIM M, ALSHAHRANI I. Ultrastructural and physicochemical characterization of pH receptive chlorhexidine-loaded poly-L-glycolic acid-modified orthodontic adhesive. *Microsc Res Tech*. 2022 Mar;85(3):996-1004. doi: 10.1002/jemt.23968. Epub 2021 Oct 30. PMID: 34716725.

KNÖSEL M, BOJES M, JUNG K, ZIEBOLZ D. Increased susceptibility for white spot lesions by surplus orthodontic etching exceeding bracket base area. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012 May;141(5):574-82. doi: 10.1016/j.ajodo.2011.11.017. PMID: 22554751.

LUCCHESI A, BONDEMARK L, MARCOLINA M, MANUELLI M. Changes in oral microbiota due to orthodontic appliances: a systematic review. *J Oral Microbiol.* 2018 Jul 3;10(1):1476645. doi: 10.1080/20002297.2018.1476645. PMID: 29988826; PMCID: PMC6032020.

MARSH PD. Controlling the oral biofilm with antimicrobials. *J Dent.* Elsevier Ltd;

MUMMOLO, S. et al. Salivary concentrations of *Streptococcus mutans* and *Lactobacilli* during an orthodontic treatment. An observational study comparing fixed and removable orthodontic appliances. *Clin. Exp. Dent. Res.* 6, 181–187 (2020).

PELOSO RM, COTRIN P, OLIVEIRA RCG, OLIVEIRA RCG, VALARELLI FP, FREITAS KMS. Evaluation of enamel deproteinization in bond strength of orthodontic accessories: A split-mouth randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022 Oct;162(4):443-450. doi: 10.1016/j.ajodo.2022.05.015. PMID: 36182207.

RATHKE A, STAUDE R, MUCHE R, HALLER B. Antibacterial activity of a triclosan-containing resin composite matrix against three common oral bacteria. *J Mater Sci Mater Med.* 2010;21(11):2971–7.

REYNOLDS IR. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod.* 1975;2(3):171-8. doi: 10.1080/0301228x.1975.11743666.

SACCOMANNO S. et al. Motivation, Perception, and Behavior of the Adult Orthodontic Patient: A Survey Analysis. *BioMed Research International* Volume 2022, Article ID 2754051, <https://doi.org/10.1155/2022/2754051>.

SCHEIE A A, ARNEBERG P, KROGSTAD O. Effect of orthodontic treatment on prevalence of *Streptococcus mutans* in plaque and saliva. *Scand J Dent Res.* 1984;92(3):211–7.

SHAFIEI F, MEMARPOUR M. Antibacterial activity in adhesive dentistry: A literature review. *Gen Dent.* 2012;60(6).

SONESSON M, BRECHTER A, ABDULRAHEEM S, LINDMAN R, TWETMAN S. Fluoride varnish for the prevention of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2020 Jun 23;42(3):326-330. doi: 10.1093/ejo/cjz045. PMID: 31197364.

SUNDARARAJ D, VENKATACHALAPATHY S, TANDON A, PEREIRA A. Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2015 Nov-Dec;5(6):433-9. doi: 10.4103/2231-0762.167719. PMID: 26759794; PMCID: PMC4697225.

UY E, EKAMBARAM M, LEE GHM, YIU CKY. Remineralization Potential of Calcium and Phosphate-based Agents and Their Effects on Bonding of Orthodontic Brackets. *J Adhes Dent*. 2019;21(3):219-228. doi: 10.3290/j.jad.a42305. PMID: 31165104.

VELUSAMY P, SHIMADA Y, KANNO Z, ONO T, TAGAMI J. Optical evaluation of enamel white spot lesions around orthodontic brackets using swept-source optical coherence tomography (SS-OCT): An in vitro study. *Dent Mater J*. 2019 Feb 8;38(1):22-27. doi: 10.4012/dmj.2017-262. Epub 2018 Aug 29. PMID: 30158348.

VIWATTANATIPA N, JERMWIWATKUL W, CHINTAVALAKORN R, NANTHAVANICH N. The effect of different surface preparation techniques on the survival probabilities of orthodontic brackets bonded to nanofill composite resin. *J Orthod* 2010;37:162–73.

WANG Z, SHEN Y, HAAPASALO M. Dental materials with antibiofilm properties. *Dent Mater*. The Academy of Dental Materials; 2014;30(2):e1–16.

YI J, DAI Q, WEIR MD, MELO MAS, LYNCH CD, OATES TW, ZHANG K, ZHAO Z, XU HHK. A nano-CaF₂-containing orthodontic cement with antibacterial and remineralization capabilities to combat enamel white spot lesions. *J Dent*. 2019 Oct;89:103172. doi: 10.1016/j.jdent.2019.07.010. Epub 2019 Jul 18. PMID: 31326528.

ZHANG JF, WU R, FAN Y, LIAO S, WANG Y, WEN ZT, et al. Antibacterial dental composites with chlorhexidine and mesoporous silica. *J Dent Res*. 2014;93(12):1283–9.