



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
PROGRAMA DE MESTRADO EM ODONTOLOGIA



PAULO GUILHERME BITTENCOURT MARCHI

Efeito da adição de nanotubos de carbono a dois adesivos ortodônticos
utilizados para colagem indireta de bráquetes: estudo *in vitro*

CASCADEL-PR

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
PROGRAMA DE MESTRADO EM ODONTOLOGIA

PAULO GUILHERME BITTENCOURT MARCHI

Efeito da adição de nanotubos de carbono a dois adesivos ortodônticos
utilizados para colagem indireta de bráquetes: estudo *in vitro*

Defesa de Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação *Stricto
Sensu*, nível de Mestrado em
Odontologia, do Centro de Ciências
Biológicas e da Saúde, da Universidade
Estadual do Oeste do Paraná.

Orientador: Professor Doutor Mauro
Carlos Agner Busato

Co-orientador: Paulo Rodrigo Stival
Bittencourt

Assinatura do Orientador (a):

CASCADEL-PR

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M265e

Marchi, Paulo Guilherme Bittencourt

Efeito da adição de nanotubos de carbono a dois adesivos ortodônticos utilizados para colagem indireta de bráquetes: estudo in vitro. / Paulo Guilherme Bittencourt Marchi. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2015.

36 p.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Carlos Agner Busato

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2015

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Odontologia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde.

1. Ortodontia. 2. Bráquetes ortodônticos. 3. Colagem dentária. I. Busato, Mauro Carlos Agner. II. Bittencourt, Paulo Rodrigo Stival. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 21.ed. 617.695

CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio CRB-9^o/965



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Cascavel CNPJ 78680337/0002 85
Rua Universitária, 2069 - Jardim Universitário - Cx. P. 000711 - CEP 85819-110
Fone: (45) 3220-3000 - Fax: (45) 3324-4558 - Cascavel - Paraná

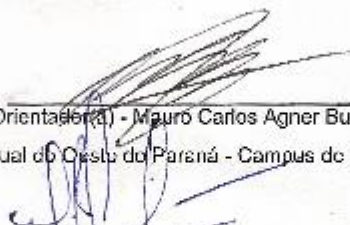


PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO


PAULO GUILHERME BITTENCOURT MARCHI

Efeito da adição de nanotubos de carbono a dois adesivos ortodônticos utilizados para colagem indireta de bráquetes: estudo *in vitro*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração Odontologia, linha de pesquisa Materiais dentários aplicados à clínica odontológica, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Orientadora) - Mauro Carlos Agner Busato

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Marcio José Mendonça

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Marcos Rogério de Mendonça

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP (UNESP)

Cascavel, 8 de março de 2016

Lista de Imagens

Figura 01 - Dentes bovinos inseridos em gesso pedra.....	16
Figura 02 - Modelos de gesso destinados à colagem indireta.....	16
Figura 03 - Kit adesivo Transbond XT (3M Unitek - Monrovia - EUA).....	17
Figura 04 - Sistema Adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek – Monrovia - EUA).....	19
Figura 05 - Bráquetes colados no modelo de gesso.....	19
Figura 06 - Silicone de condensação com os bráquetes incorporados.....	19
Figura 07 - Moldeira de transferência posicionada sobre o modelo de gesso.....	19
Figura 08 - Jateamento com óxido de alumínio (Bio-Art -São Carlos— Brasil).....	19
Figura 09 - Profilaxia com pedra-pomes e água.....	19
Figura 10 - Condicionamento com ácido fosfórico 37% (Condac 37- FGM - Joinville - Brasil).....	19
Figura 11 - Fricção do adesivo ao dente.....	19
Figura 12 - Fricção do adesivo na base do bráquete.....	19
Figura 13 - Posicionamento da moldeira de transferência sobre os dentes.....	19
Figura 14 - Sistema adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA).....	20
Figura 15 - Fluxograma	21
Figura 16 - Corpos de prova após a remoção da solução de fucsina 0,5%.....	22
Figura 17 - Escores IRA após o cisalhamento dos bráquetes.....	23
Figura 18 - Escores de infiltração ocorrida sob a base dos bráquetes.....	24

Lista de Quadros

QUADRO 01 - Estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos grupos 1, 2 e 6 (valores em MPa).....	26
QUADRO 02 - Estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos bráquetes colados com o adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono (valores em MPa).....	26
QUADRO 03 - Estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos bráquetes colados com o adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono (valores em MPa).....	27
QUADRO 04 - Frequência absoluta, mediana e desvio interquartílico dos Escores do IRA nos corpos de prova dos grupos 1, 2 e 6.....	27
QUADRO 05 - Frequência absoluta, mediana e desvio interquartílico dos Escores do IRA nos corpos de prova do adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono.....	28
QUADRO 06 - Frequência absoluta, mediana e desvio interquartílico dos Escores do IRA nos corpos de prova adesivo Concise com diferentes concentrações de nanotubos de carbono.....	28
QUADRO 07 - Frequência absoluta, mediana e desvio interquartílico dos Escores de microinfiltração nos grupos 1, 2 e 6.....	29
QUADRO 08 – Frequência absoluta, mediana e desvio interquartílico dos Escores da microinfiltração nos corpos de prova do adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono.....	29
QUADRO 09 – Frequência absoluta, mediana e desvio interquartílico dos Escores da microinfiltração nos corpos de prova do adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono	30

Lista de Abreviaturas

C.I.	Colagem indireta
IRA	Índice Remanescente de Adesivo
MPa	Megapascal
Nano C.	Nanotubos de Carbono
SDS	Dodecil Sulfato de Sódio
mW.....	Miliwatts
cm.....	Centímetros
mg.....	Miligramas
ml.....	Militros

Sumário

Título.....	10
Resumo.....	10
Palavras-chave.....	11
Equipe executora	12
Locais de realização.....	12
Introdução.....	13
Material e métodos.....	15
Resultados.....	26
Discussão.....	31
Conclusões.....	37
Referências bibliográficas.....	38

Título

Efeito da adição de nanotubos de carbono a dois adesivos ortodônticos utilizados para colagem indireta de bráquetes: estudo *in vitro*

Resumo

A evolução na área da adesão em Odontologia tem, atualmente, sugerido o acréscimo de nanopartículas ao material adesivo com o propósito de melhorar as suas propriedades mecânicas. O objetivo deste trabalho foi comparar as técnicas direta e indireta de colagem de bráquetes, além de avaliar possíveis alterações causadas pela adição de nanotubos de carbono a dois tipos de sistemas adesivos na colagem indireta de bráquetes com relação às seguintes variáveis: resistência de união por microcisalhamento, quantidade de compósito remanescente sobre o esmalte dentário, através do Índice de Remanescente Adesivo (IRA), e microinfiltração ocorrida sob os bráquetes. Para tanto, foram utilizados 180 incisivos bovinos divididos aleatoriamente nos seguintes grupos: G1 (Transbond Controle): colagem direta com adesivo Transbond XT (3M Unitek - Monrovia - EUA); G2 (Sondhi Controle): colagem indireta com adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek, Monrovia, USA); G3, G4, G5: colagem indireta utilizando o adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek, Monrovia, USA), com sua porção base acrescida de nanotubos de carbono nas concentrações, respectivamente de 1%, 0,5% e 0,1%; G6: (Concise Controle): colagem indireta com adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA); G7, G8 e G9: colagem indireta utilizando o adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA), com sua porção base acrescida de nanotubos de carbono nas concentrações, respectivamente de 1%, 0,5% e 0,1%. Para a colagem, em todos os grupos foi utilizada a resina composta Transbond (3M Unitek - Monrovia - EUA). Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística específica para cada uma das variáveis. Com relação à resistência ao microcisalhamento, observou-se diferença estatisticamente significativa do grupo 1 em relação aos grupos 2 e 6 ($p < 0,05$). No que diz respeito ao IRA, não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p > 0,05$). Já com relação à microinfiltração ocorrida sob os bráquetes, houve diferença estatisticamente significativa do grupo 1 em relação aos grupos 2 e 6, e do grupo 4 em relação aos grupos 3 e 5 ($p < 0,05$). Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a técnica

direta mostrou-se superior em relação à técnica indireta nos quesitos de resistência ao microcisalhamento e microinfiltração. Além disto, a adição de nanotubos de carbono aos sistemas adesivos Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) e Sondhi Rapid Set (3M Unitek, Monrovia, USA), não se mostrou vantajosa, nas concentrações avaliadas, no que diz respeito ao aumento da resistência ao microcisalhamento dos bráquetes, na quantidade de compósito remanescente sobre o esmalte dentário e na prevenção da ocorrência de microinfiltração sob os mesmos.

Palavras-chave

Ortodontia, Bráquetes ortodônticos, Colagem dentária.

Title

Effect of carbon nanotubes addition to two orthodontic adhesives for indirect bracket bonding: an in vitro study

Abstract

The adhesion evolution in dentistry, currently, has suggested the nanoparticles addition to the composites in order to improve their mechanical properties. The aim of this study was to compare direct and indirect bracket bonding and to evaluate possible changes due to carbon nanotubes (CN) addition to two adhesives used in indirect bonding by examining the following variables: shear bond strength (SBS), bond failure location and microleakage in the enamel/composite interface. One hundred and eighty bovine incisors underwent 37% phosphoric acid etching and were randomly divided into 9 groups (n=20): (1) direct bonding with Transbond XT adhesive; (2) indirect bonding with Sondhi adhesive; (3), (4) and (5) indirect bonding with Sondhi to which CN at 0.5%, 0.25% and 0.05% concentrations were included; (6) indirect bonding with Concise adhesive; (7), (8) and (9) indirect bonding with Concise to which CN at 0.5%, 0.25% and 0.05% concentrations were included. Transbond XT resin was used in all groups. Maximum SBS was measured with a mechanical testing machine, the location of bond failure was evaluated using the Adhesive Remnant Index (ARI) and the microleakage was measured utilizing scores. One-way analysis of variance followed by the Tukey test ($P<.05$) was used to compare the SBS among groups, and the differences in ARI and microleakage scores were evaluated using the Kruskal-Wallis test ($P<.05$). The SBS in group 1 was statistically higher than groups 2 to 6 ($P<.05$). ARI analysis did not reveal statistically significant differences among the groups ($P>.05$). In CN groups, there was no statistical difference ($P>.05$) in SBS or ARI. About the microleakage in the enamel/composite interface, there was a statistically significant difference in group 1 compared to groups 2 and 6, and in group 4 compared to groups 3 and 5 ($P<.05$). The direct technique was superior to the indirect technique in SBS and microleakage. CN addition to Concise and Sondhi, at the concentrations used, did not significantly increase SBS, ARI or microleakage.

Keywords: Orthodontics; Bracket; Bonding.

Equipe executora

Responsável principal:

- Prof. Dr. Mauro Carlos Agner Busato (professor do curso de Odontologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná e professor do Programa de Mestrado em Odontologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná).

Equipe de pesquisa:

- Prof. Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt (professor do curso de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Mestrando Paulo Guilherme Bittencourt Marchi (aluno do Programa de Mestrado em Odontologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná).
- Maurício Matté Zanini (mestre em Odontologia pelo Programa de Mestrado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná).
- Dr. Fernando Reinoldo Scremin (pós-doutorando Universidade Tecnológica Federal do Paraná.)

Locais de realização

-Laboratório de pesquisa da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) de Cascavel/PR.

-Laboratório de pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) de Medianeira/PR.

Introdução

O avanço tecnológico na área dos materiais dentários, especificamente nos adesivos odontológicos fez, na década de 70, com que a técnica de bandagem ortodôntica passasse a ser substituída pelos bráquetes colados aos dentes.¹ A resistência de união na interface esmalte/compósito/bráquete deve ser suficientemente resistente para suportar as forças provenientes da mecânica da movimentação dentária e das cargas resultantes da oclusão.²

Várias características dos compósitos odontológicos, incluindo dureza, contração de polimerização, módulo de flexão e resistência à compressão e tração, podem variar de acordo com o método de colagem utilizado.³ Dentre essas características, a contração de polimerização pode causar falhas na interface compósito-esmalte, podendo levar à diminuição da resistência de união e a microinfiltrações, o que permitiria a passagem de bactérias e fluidos da cavidade oral, podendo causar a formação de manchas brancas no esmalte sob o bráquete, além do desenvolvimento de cáries dentárias.⁴

Uma alternativa para a melhoria das propriedades mecânicas dos compósitos odontológicos seria a introdução de carga aos mesmos.⁵ Enquanto vários tipos de compósitos, como microparticulados, microhíbridos e fluidos vêm sendo utilizados, o desenvolvimento mais recente nesta área tem sido a introdução de partículas nanométricas aos mesmos.⁶

Os nanotubos de carbono são partículas nanométricas, cilíndricas, formadas por folhas de grafeno (folha plana de átomos de carbono densamente compactados em uma grade de duas dimensões) enroladas em torno do eixo de simetria cilíndrica do nanotubo, sendo considerados o melhor material de reforço para resinas.⁷ Dentre suas propriedades, os nanotubos de carbono apresentam excelentes propriedades mecânicas, como alta rigidez e resistência à tensão.⁸ Ao otimizar a interação entre este tipo de nanopartículas com os polímeros, as propriedades intrínsecas dos nanotubos

de carbono são transferidas ao conjunto formado, resultando em uma boa transferência de tensão a partir do polímero para o nanotubo de carbono, prevenindo alterações dimensionais,⁹ o que faz supor que sua inclusão no adesivo ortodôntico, poderia melhorar a resistência de união e diminuir microinfiltrações sob os bráquetes.

A colagem indireta foi introduzida no meio ortodôntico por Silverman *et al.*,¹⁰ no ano de 1972. Esta técnica de colagem é dividida em duas etapas: o posicionamento dos bráquetes no modelo de gesso e a sua transferência para a boca do paciente, utilizando moldeiras de transferência.¹¹ Por esse motivo, há uma maior precisão no posicionamento dos bráquetes, já que estes são inicialmente colados com resina composta nos modelos de gesso, facilitando a visualização tridimensional dos dentes. Outra vantagem dessa técnica, tanto para o ortodontista quanto para o paciente, é a redução do tempo da sessão clínica de colagem.^{12,13} Por outro lado, alguns autores^{14,15} afirmaram que a interface formada entre a resina composta pré-polimerizada e o sistema adesivo poderia ser fraca quando a colagem indireta é utilizada, levando a um maior número de falhas clínicas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar as técnicas direta e indireta de colagem de bráquetes, além de avaliar possíveis alterações causadas pela adição de nanotubos de carbono a dois tipos de sistemas adesivos na colagem indireta de bráquetes com relação às seguintes variáveis: resistência de união por microcissalhamento, quantidade de compósito remanescente sobre o esmalte dentário, através do Índice Remanescente de Adesivo (IRA), e microinfiltração sob os bráquetes.

Material e Métodos

Adição de nanotubos de carbono à porção base dos sistemas adesivos

Para a obtenção da suspensão dos nanotubos de carbono nos sistemas adesivos Sondhi Rapid Set (3M Unitek, Monrovia, USA) e Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA), inicialmente, foi preparada uma solução aquosa a 10% (massa/volume) de dodecil sulfato de sódio (SDS) (Reagen - Colombo - Brasil), como agente surfactante, para a estabilização dos nanotubos de carbono na água e, posteriormente, para a realização da sua ligação aos monômeros da porção base dos sistemas adesivos. Nessa solução, foram adicionados nanotubos de carbono de parede única (Sigma Aldrich - São Paulo - Brasil), com 0,7 a 1,1 nanômetros de diâmetro e uma média de 800 nanômetros de comprimento, perfazendo uma suspensão com concentração de 1 mg/ml. Durante um tempo de 10 minutos, esta suspensão passou por banho de ultrassom (80 hertz - Elmasonic P - Alemanha) com aquecimento para homogeneização, sendo posteriormente adicionada às porções base dos adesivos, a fim de se obter teores de 0,1%, 0,5% e 1,0% de nanotubos de carbono em suas composições, de modo que, quando fosse feita a mistura entre porção base e porção catalisadora, a concentração de nanotubos de carbono no sistema adesivo fosse de 0,05%, 0,25% e 0,5%.¹⁶ Por fim, as porções base foram homogeneizadas com a utilização de ultrassom, por um tempo de 10 minutos, e o excesso de água presente foi removido em estufa a vácuo, com temperatura de 70°C por um tempo de 24 horas.^{17,18}

Colagem dos bráquetes

A pesquisa foi realizada utilizando-se 180 incisivos bovinos, divididos aleatoriamente em 9 grupos contendo 20 dentes cada. Os dentes foram desinfetados em solução de timol a 0,1% durante uma semana¹⁹ e, posteriormente, armazenados em água destilada até seu uso. Foram utilizados dentes bovinos devido a sua similaridade com o esmalte dentário humano em propriedades físicas, composição e resistência de união. Além disso, mostraram-se substitutos confiáveis do esmalte humano em estudos de adesão.²⁰

Previamente à colagem, os ápices dentários foram selados com gesso,³ para evitar a entrada de corante pelo ápice radicular durante o teste de microinfiltração, que viria a ser realizado. Posteriormente, foram inseridos e perfilados 5 dentes em um bloco de gesso pedra tipo III (Vigodent - Rio de Janeiro - Brasil), de modo que seus longos eixos ficassem perpendiculares ao solo (fig. 1). Feito isto, foi realizada a moldagem com alginato (DencriGel - Dencril - Pirassununga - Brasil) e vazamento com gesso ortodôntico (Vigodent - Brasil), para a obtenção dos modelos dos dentes bovinos (fig. 2), a fim de se confeccionar as moldeiras de transferência para os grupos de colagem indireta.



Fig. 1: Dentes bovinos inseridos em gesso pedra.



Fig. 2: Modelos de gesso destinados à colagem indireta.

No Grupo 1 (Transbond Controle) realizou-se a técnica de colagem direta. Inicialmente foi realizada profilaxia com pedra-pomes (Asfer - São Caetano do Sul - Brasil) e água durante 10 segundos. Em seguida, os corpos de prova foram lavados com água por 10 segundos e secos com jato de ar proveniente de uma fonte isenta de óleo, pelo mesmo tempo. Gel de ácido fosfórico a 37% (Condac 37- FGM – Joinville - Brasil) foi aplicado à superfície vestibular dos incisivos por 30 segundos, para o condicionamento ácido. Em seguida, os dentes foram lavados com água por 10 segundos cada e secos com jato de ar, também por 10 segundos. Após o condicionamento do esmalte dentário, utilizando-se um pincel descartável *microbrush* de tamanho médio (Coltene - Rio de Janeiro - Brasil), foi aplicada uma fina camada do sistema adesivo Transbond (3M Unitek - Monrovia - EUA) (fig. 3), a qual foi fotopolimerizada durante um tempo de 40 segundos. Passada essa etapa, foi aplicada resina composta Transbond (3M Unitek - Monrovia - EUA) (fig.3) na base dos bráquetes de incisivos superiores (prescrição Edgewise Standard - Morelli - Brasil), os quais foram pressionados à parte mais convexa da superfície vestibular das coroas dentárias com uma força de 450 gramas,²¹ medida em um dinamômetro (Morelli). O

posicionamento dos bráquetes foi feito com o auxílio de um delineador (Bio-Art – São Carlos – Brasil), de modo que a parte central dos acessórios ortodônticos se localizasse na porção mais convexa da face vestibular dos dentes, para que a força de cisalhamento fosse exercida de forma paralela à interface dente/bráquete.

Após os excessos de resina composta terem sido removidos com uma sonda exploradora número 5 (Golgran - São Paulo - Brasil), foi realizada a fotopolimerização na região de cada bráquete durante 20 segundos por cervical e 20 segundos por incisal. A fotopolimerização, tanto do sistema adesivo, quanto da resina composta, foi realizada utilizando-se um fotopolimerizador previamente calibrado, com luz de LED e irradiância de 1100mW/cm² (ThreeH X-lite II - China).



Fig. 3: Kit adesivo Transbond XT (3M Unitek - Monrovia - EUA).

No grupo 2 (Sondhi Controle) foi feita a colagem indireta com resina composta Transbond (3M Unitek - Monrovia - EUA), e a porção base sistema adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA), (fig. 4) não acrescido de nanotubos de carbono. Utilizando-se alginato, foram realizadas moldagens dos dentes montados na base de gesso, as quais posteriormente, foram vazadas com gesso ortodôntico (Vigodent – Rio de Janeiro - Brasil), o qual permaneceu secando por 1 hora. Passado este tempo, os modelos foram removidos do alginato, e uma camada de isolante para resinas (Celac - SSwhite - Rio de Janeiro - Brasil) foi aplicada às faces vestibulares dos dentes dos mesmos. Passados 20 minutos para a secagem deste isolante, os bráquetes foram posicionados sobre a porção mais convexa da face vestibular dos dentes dos

modelos de gesso (fig. 5) com resina composta Transbond XT (3M Unitek - Monrovia - EUA) em suas bases, tendo seu excesso removido com uma sonda. Foi realizada a fotopolimerização da resina por um tempo de 20 segundos por cervical e 20 segundos por oclusal. Para tanto, foi utilizado o mesmo fotopolimerizador previamente calibrado, também para a colagem direta. Posteriormente, foi confeccionada a moldeira de transferência com silicone de condensação (Perfil – Rio de Janeiro - Brasil), posicionando-a sobre os dentes no modelo de gesso (fig. 6). Aguardado seu tempo de polimerização (5 minutos), os excessos de silicone foram removidos com uma lâmina de bisturi e, posteriormente, foi feito o destacamento da moldeira do modelo de gesso, já com os bráquetes incorporados (fig. 7). Durante 2 segundos e de 1 à 2 cm de distância, foi realizado um jateamento (Micro-etcher - Bio-Art - Brasil) com óxido de alumínio 90µm (Bio-Art – São Carlos – Brasil) nas bases dos bráquetes contendo a resina composta para a remoção de excessos de isolante (fig. 8). No esmalte dentário, inicialmente foi feita a profilaxia com pedra-pomes (Asfer - São Caetano do Sul - Brasil) e água em todos os dentes por 10 segundos (fig. 9), seguida de lavagem e secagem com jato de ar pelo mesmo tempo. Posteriormente, foi feito o condicionamento com ácido fosfórico a 37% (Condac 37- FGM – Joinville - Brasil) (fig. 10) durante 30 segundos, seguido de lavagem com água por 10 segundos e secagem com jato de ar, também por 10 segundos. Feito isto, iniciou-se a etapa da manipulação e aplicação do adesivo, na qual foi aplicada uma gota da porção base (primer A) e uma gota da porção catalisadora (primer B) do sistema adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) em um pote *Dappen*, as quais foram misturadas utilizando-se um pincel descartável do tipo *microbrush* de tamanho médio (Coltene – Rio de Janeiro – Brasil) durante 5 segundos. Após isso, utilizando-se o mesmo pincel, foi aplicada uma fina camada da mistura sobre a superfície vestibular de cada dente (fig. 11), e outra fina camada sobre a resina composta localizada na base de cada bráquete (fig. 12). Foi realizado, então, o posicionamento da moldeira de transferência sobre os dentes (fig. 13), sendo pressionada durante 1 minuto e aguardando-se mais 2 minutos sem pressioná-la para que ocorresse a polimerização total do sistema adesivo. Depois disso, a moldeira foi removida.



Fig. 4: Sistema adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA)



Fig. 5:– Bráquetes colados no modelo de gesso.



Fig. 6: Silicone de condensação posicionado sobre o modelo de gesso.



Fig. 7: Moldeira de transferência com os bráquetes incorporados.



Fig. 8: Jateamento com óxido de alumínio. (Bio-Art – São Carlos – Brasil)



Fig. 9: Profilaxia com pedra-pomes e água.



Fig. 10: Condicionamento com ácido fosfórico 37%. (Condac 37- FGM – Joinville - Brasil)



Fig. 11: Fricção do adesivo ao dente.

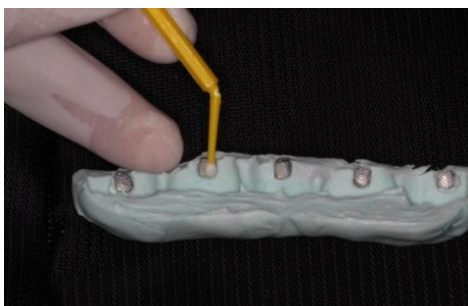


Fig. 12: Fricção do adesivo na base do bráquete.



Fig. 13: Posicionamento da moldeira de transferência sobre os dentes.

Nos grupos 3, 4 e 5 foram feitos os mesmos procedimentos realizados previamente no grupo 2, porém, com a porção base (primer A) do adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) acrescida de nanotubos de carbono, respectivamente, nas concentrações de 1%, 0,5% e 0,1%.

No grupo 6 (Concise Controle) os bráquetes foram colados indiretamente com resina composta Transbond (3M Unitek - Monrovia - EUA), e sistema adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) (fig. 14), não acrescido de nanotubos de carbono. Foram seguidas as mesmas etapas anteriormente descritas para o grupo 2, desde a realização da moldagem dos dentes com alginato, até a aplicação do ácido fosfórico 37% (Condac 37- FGM – Joinville - Brasil), seguida de lavagem e secagem dos dentes. Feito isto, passou-se para a fase da manipulação e aplicação do adesivo. Nesta etapa, foi aplicada uma gota da porção base (A) e uma gota da porção catalisadora (B) do sistema adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) em um pote *Dappen*, as quais foram misturadas utilizando-se um pincel descartável do tipo *microbrush* de tamanho médio (Coltene – Rio de Janeiro – Brasil) durante 5 segundos. Após isso, utilizando-se o mesmo pincel, foi aplicada uma fina camada da mistura na parte mais convexa da superfície vestibular de cada dente, e outra fina camada sobre a resina composta localizada na base de cada bráquete. Foi então, feito o posicionamento da moldeira de transferência sobre os dentes, sendo pressionada durante 3 minutos e aguardando-se mais 2 minutos sem pressioná-la para que ocorresse a polimerização total do adesivo. Passado esse tempo, a moldeira foi removida.



Fig. 14: Sistema adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA)

Nos grupos 7, 8 e 9 foram feitos os mesmos procedimentos realizados previamente no grupo 6, porém, com a porção base (A) do sistema adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) acrescida de nanotubos de carbono, respectivamente, nas concentrações de 1%, 0,5% e 0,1%.

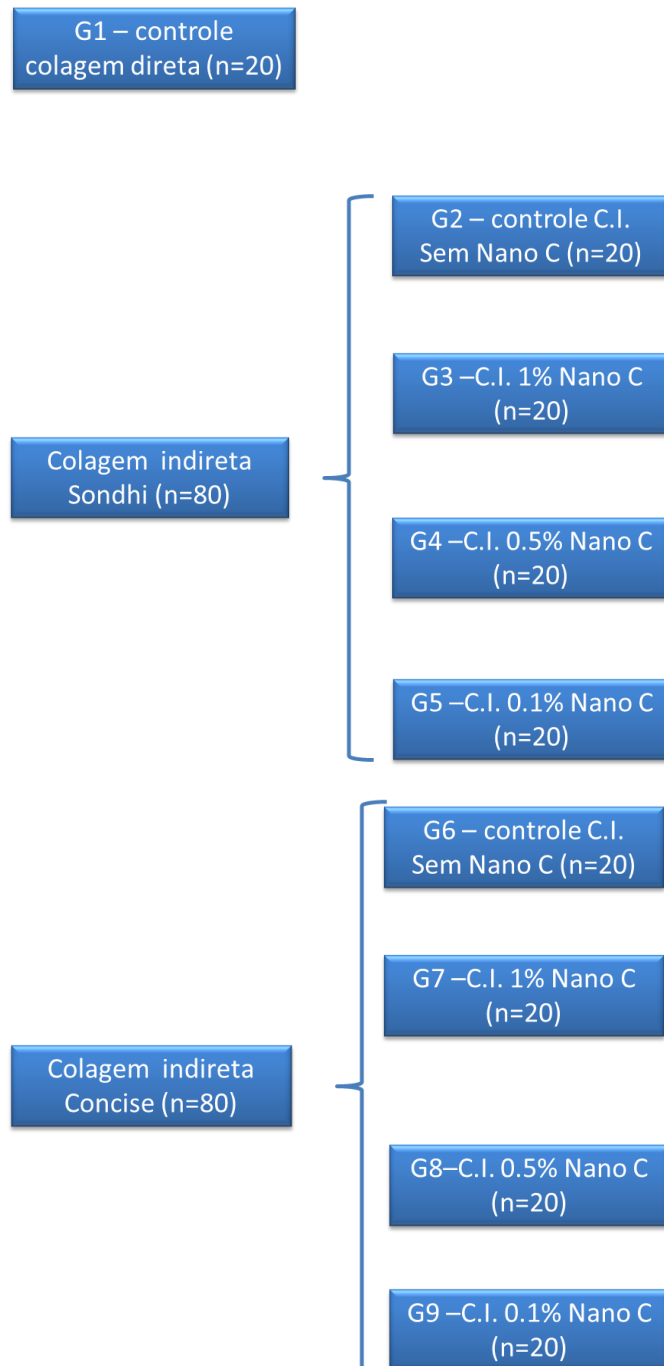


Fig. 15: Fluxograma representando a divisão dos grupos, o tipo de colagem realizada, o adesivo e a quantificação de nanotubos presente em cada um. (C.I.: Colagem indireta; Nano C: nanotubos de carbono)

Em todos os grupos, após a remoção da moldeira de transferência, foi aguardado o tempo 10 minutos, e mergulhou-se os corpos de prova em água destilada, para que não ocorresse a desidratação dos dentes. Estes permaneceram mergulhados durante 72 horas, à temperatura ambiente, para que ocorresse a polimerização tardia dos sistemas adesivos¹⁴ antes que os corpos de prova fossem submetidos ao teste de resistência ao microcisalhamento .

Passado este tempo, os corpos de prova foram preparados para o teste de microinfiltração.³ Para isto, os mesmos foram enxaguados em água corrente e posteriormente, secos com jato de ar. Esmalte de unha foi aplicado em toda superfície dentária, com exceção de aproximadamente 1 milímetro ao redor da base dos bráquetes. Para minimizar a desidratação, os dentes foram reinsertados em água destilada assim que o esmalte de unha secasse. Posteriormente, os corpos de prova foram imersos em solução de fucsina básica na concentração de 0,5%, durante 24 horas à temperatura ambiente. Passado este tempo, foi feita a remoção dos corpos de prova da solução, e em seguida foi realizado o seu enxague em água corrente e a secagem das superfícies dentárias com jato de ar (fig. 16). Após isto, os bráquetes foram imediatamente submetidos ao teste de resistência ao microcisalhamento.



Fig. 16: corpos de prova após a remoção da solução de fucsina 0,5%.

Resistência ao microcisalhamento

Os bráquetes colados aos dentes foram removidos por microcisalhamento, utilizando-se a máquina Texturômetro TA HD plus (Stable Micro System), com carga de 5-kN e velocidade de 0,5 mm por minuto, para a avaliação da resistência máxima ao microcisalhamento. Este processo foi realizado por um único operador, cego com

relação ao agrupamento dos corpos de prova. Os resultados obtidos em Newton (N), foram registrados pelo computador da máquina e convertidos para MPa, através do cálculo a partir de uma proporção que leva em conta a área da base do bráquete (0,16 cm²).

Índice de Remanescente Adesivo

A quantidade de compósito remanescente sobre o esmalte dentário, após o teste de microcisalhamento, foi classificada de acordo com os escores (fig. 17) do Índice de Remanescente Adesivo (IRA),²² através da visualização do esmalte dentário em microscópio óptico (Carl-Zeiss; São Paulo-Brasil) em um aumento de 10 vezes. Assim como no teste de microcisalhamento, este processo foi realizado por um único operador, cego com relação ao agrupamento dos corpos de prova.

Escores IRA:

- Escore 0: nenhum remanescente de adesivo sobre o dente;
- Escore 1: menos que 50% do adesivo sobre o dente;
- Escore 2: mais que 50% do adesivo sobre o dente;
- Escore 3: todo o adesivo sobre o dente.

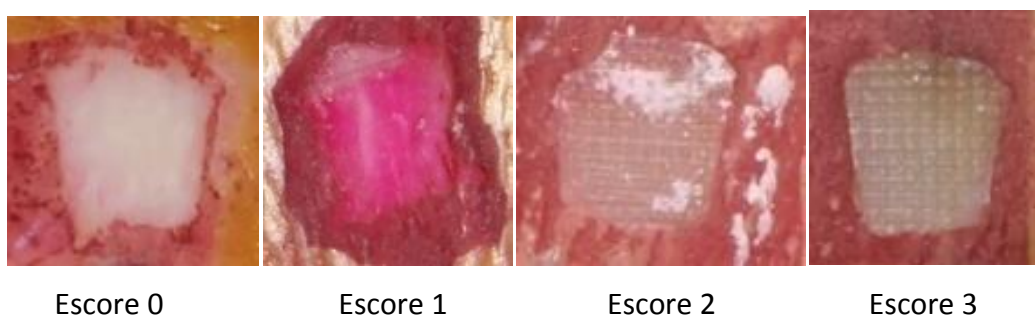


Fig. 17: escores IRA após o cisalhamento dos bráquetes.

Microinfiltração sob os bráquetes

Após o descolamento dos bráquetes, a avaliação da microinfiltração foi realizada através da visualização do esmalte dentário em microscópio óptico (Carl-

Zeiss; São Paulo-Brasil) em um aumento de 10 vezes, sendo este processo realizado por um único operador, cego com relação ao agrupamento dos corpos de prova. Foram estabelecidos escores adaptados (fig. 18) do trabalho de Alkis *et al.*²³, no qual foi feita a avaliação da quantidade de microinfiltração em profundidade. No presente estudo, foi feita tal avaliação da área superficial do esmalte dentário, sendo os escores estabelecidos da seguinte forma:

Escores Microinfiltração:

- Escore 0: nenhuma penetração de corante na área do dente localizada sob a base do bráquete;
- Escore 1: menos que 50% da área do dente localizada sob a base do bráquete penetrada por corante;
- Escore 2: mais que 50% da área do dente localizada sob a base do bráquete penetrada por corante;
- Escore 3: toda a área do dente localizada sob a base do bráquete penetrada por corante.

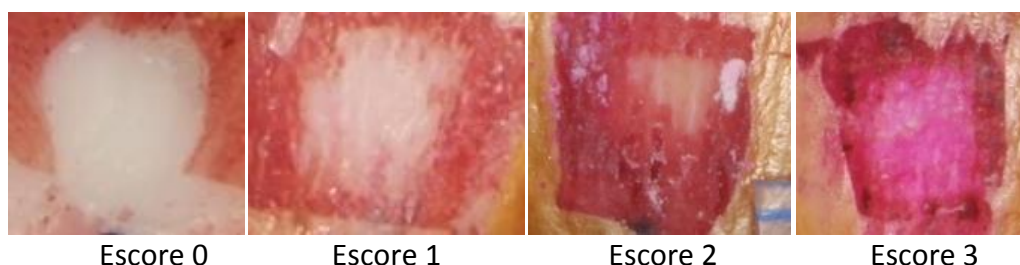


Fig. 18: escores de infiltração ocorrida sob a base dos bráquetes.

Análise Estatística

Previamente à aplicação dos testes estatísticos para os grupos, realizou-se avaliação de normalidade dos dados para variável resistência ao microcisalhamento através do teste D'Agostino. Os dados apresentaram uma distribuição normal. Assim, para a avaliação da resistência ao microcisalhamento utilizou-se a análise de variância a um critério (pós-teste de Tukey - $p < 0,05$). Para as variáveis IRA e microinfiltração,

por se tratarem de variáveis qualitativas ordinais, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, e caso fosse detectada a diferença entre os grupos realizou-se o pós-teste de Dunn ($p < 0,05$). As comparações foram realizadas com a utilização do programa BioStat 5.3 (Instituto Mamirauá, Belém, Pará, Brasil).

Resultados

O quadro 01 mostra a estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos grupos controle. Observou-se diferença estatisticamente significativa do grupo 1 em relação aos grupos 2 e 6 ($p < 0,05$).

QUADRO 01 - Estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos grupos 1, 2 e 6 (valores em MPa).

	Tranbond Controle A	Sondhi Controle B	Concise Controle B
Tamanho da amostra	20	20	20
Mínimo	6.3125	0.1675	0.2688
Máximo	19.2250	17.5000	18.5000
Média Aritmética	12.3324	7.5584	8.4444
Desvio Padrão	3.6413	5.8806	5.1728

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

O quadro 02 mostra a estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos grupos 2, 3, 4 e 5 (Sondhi Rapid Set - 3M Unitek, Monrovia, EUA). Não observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p > 0,05$).

QUADRO 02 - Estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos bráquetes colados com o adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono (valores em MPa).

	Sondhi Controle A	Sondhi 1% A	Sondhi 0,5% A	Sondhi 0,1% A
Tamanho da amostra	20	20	20	20
Mínimo	0.1675	0.5000	0.3188	0.8125
Máximo	17.5000	15.8250	19.7313	19.5813
Média Aritmética	7.5584	9.2863	9.9766	8.1691
Desvio Padrão	5.8806	4.5663	5.0413	4.6611

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

O quadro 03 mostra a estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos grupos 6, 7, 8 e 9 (Concise - 3M Unitek, Monrovia, EUA). Não observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p>0,05$).

QUADRO 03 - Estatística descritiva e inferencial da resistência ao microcisalhamento dos bráquetes colados com o adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono (valores em MPa).

	Concise Controle A	Concise 1% A	Concise 0,5% A	Concise 0,1% A
Tamanho da amostra	20	20	20	20
Mínimo	0.2688	0.5000	0.7875	0.5500
Máximo	18.5000	16.7000	14.1438	16.5938
Média Aritmética	8.4444	6.9272	6.9941	9.5794
Desvio Padrão	5.1728	5.0053	4.4447	4.3720

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

O quadro 04 mostra os escores do IRA dos grupos 1, 2 e 6 (controle). Não observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p>0,05$).

QUADRO 04 - Frequência absoluta, mediana e desvio interquartilístico dos Escores do IRA nos corpos de prova dos grupos 1, 2 e 6.

	Transbond Controle A	Sondhi Controle A	Concise Controle A
Escore 0	9	16	14
Escore 1	0	1	2
Escore 2	1	1	1
Escore 3	10	2	3
Mediana	2.5	0	0
Desvio interquartilístico	3	0	1.25

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

O quadro 05 mostra os escores do IRA dos grupos 2, 3, 4 e 5 (Sondhi Rapid Set- 3M Unitek, Monrovia, EUA). Não observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p>0,05$).

QUADRO 05 - Frequência absoluta, mediana e desvio interquartilico dos Escores do IRA nos corpos de prova do adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono.

	Sondhi Controle A	Sondhi 1% A	Sondhi 0,5% A	Sondhi 0,1% A
Escore 0	16	15	12	14
Escore 1	1	1	3	2
Escore 2	1	2	4	2
Escore 3	2	2	1	2
Mediana	0	0	0	0
Desvio interquartilico	0	0.25	1.25	1

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

O quadro 06 mostra os escores do IRA dos grupos 6, 7, 8 e 9 (Concise - 3M Unitek, Monrovia, EUA). Não observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p>0,05$).

QUADRO 06 - Frequência absoluta, mediana e desvio interquartilico dos Escores do IRA nos corpos de prova adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono.

	Concise Controle A	Concise 1% A	Concise 0,5% A	Concise 0,1% A
Escore 0	14	16	15	16
Escore 1	2	0	4	3
Escore 2	1	2	1	1
Escore 3	3	2	0	0
Mediana	0	0	0	0
Desvio interquartilico	1.25	0	0.25	0

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

O quadro 07 apresenta os escores de microinfiltração dos grupos 1, 2 e 6 (controle). Observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p < 0.05$), com os grupos de colagem indireta mostrando maior infiltração de corante sob os bráquetes do que o grupo de colagem direta.

QUADRO 07 - Frequência absoluta, mediana e desvio interquartilico dos Escores de microinfiltração nos grupos 1, 2 e 6.

	Transbond Controle A	Sondhi Controle B	Concise Controle B
Escore 0	14	3	3
Escore 1	4	10	11
Escore 2	2	5	2
Escore 3	0	2	4
Mediana	0	1	1
Desvio interquartilico	1	1	1

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

O quadro 08 apresenta os escores de microinfiltração dos grupos 2, 3, 4 e 5 (Sondhi Rapid Set - 3M Unitek, Monrovia, EUA). Observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p < 0.05$).

QUADRO 08 – Frequência absoluta, mediana e desvio interquartilico dos Escores da microinfiltração nos corpos de prova do adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono.

	Sondhi Controle AB	Sondhi 1% B	Sondhi 0,5% A	Sondhi 0,1% B
Escore 0	3	2	4	1
Escore 1	10	7	12	7
Escore 2	5	7	3	9
Escore 3	2	4	1	3
Mediana	0	0	0	0
Desvio interquartilico	0	0.25	1.25	1

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

O quadro 09 apresenta os escores de microinfiltração dos grupos 6, 7, 8 e 9 (Concise - 3M Unitek, Monrovia, EUA). Não observou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p>0.05$).

QUADRO 09 – Frequência absoluta, mediana e desvio interquartilico dos Escores da microinfiltração nos corpos de prova do adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) com diferentes concentrações de nanotubos de carbono.

	Concise Controle A	Concise 1% A	Concise 0,5% A	Concise 0,1% A
Escore 0	3	8	2	9
Escore 1	11	6	11	4
Escore 2	2	5	6	3
Escore 3	4	1	1	4
Mediana	0	0	0	0
Desvio interquartilico	1.25	0	0.25	0

Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa. Pelo menos uma letra igual indica semelhança estatística.

Discussão

Recentemente, compósitos odontológicos acrescidos de nanopartículas têm sido desenvolvidos com o propósito de melhora nas suas propriedades mecânicas.^{5,16} Figueroa *et al.*²⁴ (2015) relataram resistência ao cisalhamento significativamente superior em bráquetes colados pela técnica direta com um adesivo ortodôntico acrescido de nanopartículas de cobre em relação a um grupo controle. No presente estudo, o objetivo deste acréscimo ao sistema adesivo, seria a redução da contração de polimerização,¹⁶ permitindo, por consequência, um ganho na performance adesiva e uma diminuição da microinfiltração.^{4,9} Os nanotubos de carbono foram adicionados às porções base dos sistemas adesivos, pelo fato da porção catalisadora conter o composto peróxido de benzoíla, responsável pelo desencadeamento da reação de polimerização, no momento da mistura das duas porções. O peróxido de benzoíla, como todos os peróxidos orgânicos, é bastante reativo, e, em contato com água, forma ácidos/álcoois originais, o que impediria a ocorrência da reação de polimerização.²⁵ Até o presente momento, há escassez de pesquisas sobre possíveis alterações causadas pelo acréscimo de nanotubos de carbono a um sistema adesivo.

A colagem indireta de bráquetes tem sido bastante utilizada na atualidade, principalmente na técnica ortodôntica lingual.²¹ Esse tipo de colagem também pode ser utilizada na ortodontia convencional, com bráquetes colados por vestibular, a fim de reduzir o tempo da sessão clínica de colagem e melhorar a precisão do posicionamento dos acessórios.^{12,13} Porém, o fato de serem usadas moldeiras de toda a arcada dentária do paciente poderia levar a um assentamento não homogêneo das mesmas sobre todos os dentes, causando a formação de camadas mais espessas de adesivo.²⁶ Além disso, há a formação de uma interface entre resina composta pré-polimerizada e adesivo que não ocorre na colagem direta. Todos esses fatores podem levar a uma diminuição da resistência de união da interface bráquete/dente.¹⁴ O acréscimo de partículas de carga permitiria a colocação de camadas mais espessas de compósito sobre a superfície dentária.⁵ Além disso, ocorreria uma menor formação de falhas marginais (*gaps*) e uma diminuição na contração de polimerização, melhorando assim, a resistência de união.¹³

Neste estudo, a resistência ao microcisalhamento no grupo 1 (Colagem Direta) foi significativamente maior em relação ao grupo 2 (Sondhi Controle) e ao grupo 6 (Concise Controle), mostrando assim, que a colagem direta foi superior à indireta (Quadro 01), contrariando os achados de Klocke *et al.*²⁷, Aguirre *et al.*²⁸ e Hocevar e Vicent,¹³ mas corroborando com os resultados obtidos por Zachrisson e Brobakken² e Flores.²⁹ Não houve diferença estatística entre os sistemas adesivos Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) e Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA), corroborando com os achados de Sondhi.¹¹ Na comparação entre os estudos, deve-se levar em conta o tipo de dente, o conteúdo de flúor do esmalte, a desinfecção, o armazenamento dos dentes antes da fixação, o tipo de carga aplicada (cisalhamento, tensão, torção), a área da base dos bráquetes e o tipo de polimerização dos compósitos. Todas essas variáveis podem influenciar na média da resistência de união.²²

Segundo Wong *et al.*,³⁰ os nanotubos de carbono são considerados o melhor material para o reforço de resinas. Entre suas propriedades, os nanotubos de carbono apresentam: baixa densidade, tamanho pequeno, propriedades mecânicas excelentes, alta rigidez, resistência à tensão, além de boa transferência de tensão e diminuição de alterações dimensionais, quando ligados a polímeros.⁸ Ao otimizar a interação da interface nanotubo/polímero, as propriedades intrínsecas dos nanotubos são transferidas ao conjunto formado.⁹ Por esses fatores, foi realizado o acréscimo desse tipo de nanopartículas ao sistema adesivo e posterior avaliação de possíveis alterações na resistência ao cisalhamento na colagem indireta de bráquetes. Porém, neste trabalho, o acréscimo de nanotubos de carbono não levou a um aumento da resistência ao microcisalhamento para os dois sistemas utilizados na colagem indireta (Quadros 02 e 03).

Como foi citado anteriormente, no presente estudo foram utilizadas moldeiras de transferência abrangendo cinco dentes de cada vez, para tentar se aproximar de uma condição clínica, na qual são confeccionadas moldeiras de toda a arcada dentária do paciente.¹¹ Todavia, ao contrário do que acontece com a utilização de moldeiras individuais,²¹ a utilização desse tipo de moldeiras de transferência, leva a uma

dificuldade do pressionamento de forma padronizada sobre as áreas exatas da moldeira sob as quais estão localizados os bráquetes.²⁶ Este fato, pode ser a causa da ocorrência do alto desvio padrão notado na resistência ao microcisalhamento relatado nos grupos nos quais foi realizada a colagem indireta de bráquetes, o que pode prejudicar a detecção de possíveis diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.

Reynolds³¹ sugere que uma resistência de união entre 5,9 a 7,8 MPa, seria adequada para o tratamento clínico. No entanto, o valor mínimo da resistência de união *in vitro* necessária para uma colagem ortodôntica confiável permanece desconhecido.²¹ A média da resistência ao microcisalhamento obtida nos 9 grupos do presente estudo variou entre 6,9 MPa e 12,3 MPa, valores estes, que seriam apropriados para o tratamento ortodôntico.³¹

Muitos trabalhos têm utilizado o Índice de Remanescente Adesivo (IRA) desenvolvido por Artun e Bergland²² para avaliar a quantidade de compósito remanescente sobre a superfície do dente após a descolagem do bráquete. Neste estudo, não houve diferença estatisticamente significativa entre o grupo de colagem direta e os grupos de colagem indireta controles com relação ao IRA (Quadro 04). Em 1988, Hocevar e Vincent¹⁵ relataram que 44% dos bráquetes colados pela técnica direta falharam na interface bráquete/adesivo, enquanto que 72% dos bráquetes colados pela técnica indireta falharam na interface esmalte/resina, resultados contrários aos do presente estudo. No entanto, Yi *et al.*¹⁶ e Polat *et al.*²⁶ não encontraram diferença estatística para a variável IRA entre a colagem direta e indireta de bráquetes.

Realizando-se uma comparação do IRA entre os grupos em que foram utilizados os mesmos sistemas adesivos com diferentes concentrações de nanotubos de carbono, os grupos 2, 3, 4 e 5 não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si (Quadro 05). Da mesma forma, não houve diferença significativa entre os grupos 6, 7, 8 e 9 (Quadro 06). Portanto, o acréscimo de nanotubos de carbono aos sistemas adesivos testados no presente estudo, não alterou de maneira significativa a

quantidade de compósito remanescente sobre o esmalte após a remoção do bráquete. Além disso, nesses grupos houve uma predominância de escores 0 e 1, resultado este, que corrobora com os trabalhos de Kanashiro *et al.*²¹ e Linn *et al.*³² Quanto maior o escore IRA, maior a quantidade de compósito que permaneceu aderida ao esmalte dentário após a remoção do bráquete.²¹ Na clínica ortodôntica, um IRA menor seria favorável, após uma eventual falha do bráquete, ou ainda, na necessidade do reposicionamento do mesmo durante o tratamento, pelo fato do clínico ter que remover nenhum ou pouco compósito remanescente sobre o dente, diminuindo assim, o tempo de sessão clínica. Todavia, um escore IRA baixo, também demonstra uma resistência de união menor da interface esmalte/compósito com relação à interface compósito/bráquete,²⁹ o que aumentaria as chances de danificação do esmalte dentário, pois o estresse de fratura ocorre na interface esmalte/compósito.³³ Por outro lado, no caso de um IRA alto, há a necessidade de remoção do compósito remanescente sobre o dente com a utilização de brocas, o que poderia levar a um desgaste do esmalte dentário.³⁴

Para a Odontologia Restauradora, microinfiltração é a difusão de substâncias orgânicas ou inorgânicas em um dente através da interface material restaurador/dente.³⁵ Esse fenômeno aumenta a probabilidade de cáries recorrentes e sensibilidade pós-operatória,³⁶ e é comumente avaliada *in vitro*, para detectar a falha de união da interface compósito/esmalte através da penetração de corante.³⁷

Embora a colagem indireta de bráquetes seja mais precisa e apresente um tempo de sessão clínica reduzido, a mesma apresentaria a desvantagem de um maior risco de microinfiltração devido à possibilidade dos bráquetes não se assentarem de maneira adequada à superfície dentária.² Além disto, a contração de polimerização e os diferentes coeficientes de expansão térmica entre o esmalte dentário e o compósito poderiam causar falhas e, conseqüentemente, levar à microinfiltração.⁴ O acréscimo de partículas de carga ao compósito melhora estas propriedades.^{5,16} Por isto, com o acréscimo de nanotubos de carbono ao sistema adesivo, acreditava-se que pudesse ocorrer uma diminuição na contração de polimerização do mesmo, levando a um

menor grau de microinfiltração, o que não se confirmou em nosso estudo. Levando-se em consideração apenas os grupos controle (1, 2 e 6), houve diferença estatística na quantidade de microinfiltração, com maiores escores para os grupos de colagem indireta (Quadro 07), resultados que contrariam os achados de Ozturk *et al.*³⁸, Yagci *et al.*³ e Linn *et al.*³² Essas diferenças podem estar relacionadas com o tipo de metodologia utilizada para a avaliação da microinfiltração.

O acréscimo de nanotubos de carbono não influenciou a microinfiltração do adesivo Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) (Quadro 09), porém melhorou a microinfiltração do adesivo Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA) (Quadro 08), quando utilizado em uma concentração de 0.5% (grupo 4), em relação aos Grupos Sondhi apresentando nanotubos de carbono a 1% e 0,1% em sua porção base (grupos 3 e 5). Porém, esta diferença não foi estatisticamente significativa em relação ao grupo Sondhi Controle (grupo 2). Segundo Piwowarczyk *et al.*,³⁹ um adesivo que contém partículas de carga teria escores de microinfiltração menores. Para Sener *et al.*,⁴⁰ o tipo de agente utilizado para a colagem, assim como sua composição e outras características teria influência sobre a infiltração. Outros autores^{3,32,38} relataram que o compósito utilizado não afeta a quantidade de infiltração sob bráquetes ortodônticos.

Embora vários estudos tenham fornecido direcionamentos sobre a natureza das interações na interface nanotubos de carbono/monômeros, as interações físicas entre estes ainda esperam maior elucidação, tanto qualitativa, como quantitativamente. Para se obter uma otimização nas propriedades mecânicas do conjunto nanotubos de carbono/polímero, existem várias questões fundamentais a serem resolvidas. A primeira delas, é a dispersão e alinhamento adequados dos nanotubos de carbono na matriz polimérica.⁴¹ Estas nanopartículas têm a tendência de se agregar (força de van der Waals), o que prejudica a transferência de suas propriedades mecânicas para o conjunto nanotubo de carbono/polímero.⁷ Outra questão, é a funcionalização da superfície dos nanotubos de carbono, para que, assim, ocorra uma união adequada entre estes e os monômeros.⁴¹ No presente estudo, os nanotubos de carbono foram ligados aos monômeros da porção base dos sistemas

adesivos por união física (forças de van der Waals), através do uso de um surfactante (SDS), o qual assimila a polaridade entre nanotubos de carbono e monômeros, sendo portanto, responsável pela união.¹⁸ Porém, há outras formas de se realizar essa ligação, entre elas, pela funcionalização química dos nanotubos de carbono através de aminas multifuncionais. Desta forma, os nanotubos se ligariam quimicamente aos monômeros da matriz orgânica. Todavia, este tipo de ligação, está relacionado a uma mudança estrutural nos nanotubos de carbono, o que poderia ser uma desvantagem, pois as propriedades mecânicas dos nanotubos de carbono estão diretamente relacionadas à sua estrutura.⁴¹

Baseado nos achados deste estudo, considerando suas limitações por ser um estudo laboratorial,²¹ pode-se dizer que quando se utiliza a colagem indireta na clínica ortodôntica, deve-se esperar um maior índice de falhas na adesão dos bráquetes, uma vez que houve uma diminuição da resistência de união por microcislamento. Também, atenção especial deve ser empregada no uso da técnica indireta com relação ao desenvolvimento de manchas brancas, já que este estudo apontou para uma maior tendência de microinfiltrações nesse tipo de técnica. As nanopartículas têm mostrado vantagens na sua aplicação odontológica,^{5,16,24} porém, os nanotubos de carbono aqui utilizados, nas concentrações avaliadas, não melhoraram como esperado, a performance dos sistemas adesivos utilizados para colagem indireta de bráquetes. A busca por estas melhorias talvez passe pelo uso de nanopartículas de outros elementos químicos (Cu, Ag, Au),²⁴ ou mesmo, pela incorporação destes à resina composta utilizada para a colagem.

Conclusões

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a técnica direta mostrou-se superior em relação à técnica indireta com relação à resistência de união por microcisalhamento e à microinfiltração, e que a adição de nanotubos de carbono aos sistemas adesivos Concise (3M Unitek - Monrovia - EUA) e Sondhi Rapid Set (3M Unitek - Monrovia - EUA), não se mostrou vantajosa nas concentrações avaliadas, no que diz respeito ao aumento da resistência ao microcisalhamento dos bráquetes, na quantidade de compósito remanescente sobre o esmalte dentário (IRA) e na prevenção de microinfiltração ocorrida sob os mesmos.

Referências Bibliográficas

1. Newman GV. Epoxy adhesives for orthodontic attachments: progress report. *Am J Orthod.* 1965; Dec;51(12):901-12.
2. Zachrisson BU, Brobakken BO. Clinical comparison of direct bonding versus indirect bonding with a different bracket type and adhesives. *Am J Orthod.* 1978; Jul;74(1):62-78.
3. Yagci A, Uysal T, Ulker M, Ramoglu SI. Microleakage under orthodontic brackets bonded with the custom base indirect bonding technique. *Eur J Orthod.* 2010 Jun;32(3):259-63.
4. James JW, Miller BH, English JD, Tadlock LP, Buschang PH. Effects of high-speed curing devices on shear bond strength and microleakage of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123:555-61.
5. Labella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater.* 1999 Mar;15(2):128-37.
6. Sfondrini MF, Massironi S, Pieraccini G, Scribante A, Vallittu PK, Lassila LV, Gandini P. Flexural strengths of conventional and nanofilled fiber-reinforced composites: a three-point bending test. *Dent Traumatol.* 2014; Feb;30(1):32-5.
7. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature.* 1991;354(6348):56-8.
8. Srivastava D, Wei C, Cho K. Nanomechanics of carbon nanotubes and composites. *Applied Mechanics Review.* 2003; 56(2):215-230.
9. Miéssi AC, Goiato MC, dos Santos DM, et al: Influence of storage period and effect of different brands of acrylic resin on the dimensional accuracy of the maxillary denture base. *Braz Dent J* 2008;19:204-208.
10. Silverman E, Cohen M, Gianelly AA, Dietz VS. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets. *Am J Orthod.* 1972;62:236–244.
11. Sondhi A. Efficient and effective indirect bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;115(4):352-9.
12. Thomas RG. Indirect bonding: simplicity in action. *J Clin Orthod.* 1979;13(2):93-106.
13. Hocevar RA, Vincent HF. Indirect versus direct bonding: bond strength and failure location. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988;94:367–371.
14. Yi GK, Dunn WJ, Taloumis LJ. Shear bond strength comparison between direct and indirect bonded orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 Nov;124(5):577-81.
15. Thompson MA, Drummond JL, BeGole EA. Bond strength analysis of custom base variables in indirect bonding techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133:9.e15–20.
16. Turagam N, Mudrakola DP. Effect of micro-additions of carbon nanotubes to polymethylmethacrylate on reduction in polymerization shrinkage. *J Prosthodont.* 2013;22(2):105-11.
17. Ausman KD, Piner R, Lourie O, Ruoff RS, Korobov M. Organic solvent dispersions of single-walled carbon nanotubes: toward solutions of pristine nanotubes. *J Phys Chem B* 2000;104:8911–5.
18. Moore VC, Strano MS, Haroz EH, Hauge RH, Smalley RE, Schmidt J, Talmon Y. Individually suspended single-walled carbon nanotubes in various surfactants. *Nano Lett* 2003;3:1379–82.
19. Cal Neto JOA, Miguel JAM. An analysis of in vitro bond strength testing in orthodontics. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial* 2004;9:44-51.
20. Oesterle LJ, Shellhart WC, Belanger GK. The use of bovine enamel in bonding studies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;114:514–519.

21. Kanashiro LK, Robles-Ruíz JJ, Ciamponi AL, Medeiros IS, Dominguez GC, de Fantini SM. Effect of adhesion boosters on indirect bracket bonding. *Angle Orthod.* 2014 Jan;84(1):171-6.
22. Artun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984; 85: 333-340.
23. Alkis H, Turkkahraman H, Adanir N. Microleakage under orthodontic brackets bonded with different adhesives systems. *Eur J Dent.* 2015 Jan-Mar;9(1):117-21.
24. Argueta-Figueroa L, Scougall-Vilchis RJ, Morales-Luckie RA, Olea-Mejía OF. An evaluation of the antibacterial properties and shear bond strength of copper nanoparticles as a nanofiller in orthodontic adhesive. *Aust Orthod J.* 2015 May;31(1):42-8.
25. Vogel A I. *Química Analítica Qualitativa.* 5 ed. Mestre Jou, 1981.
26. Polat O, Karaman AI, Buyukyilmaz T. In vitro evaluation of shear bond strengths and in vivo analysis of bond survival of indirect-bonding resins. *Angle Orthod.* 2004;74(3):405-9.
27. Klocke A, Shi J, Kahl-Nieke B, Bismayer U. Bond strength with custom base indirect bonding techniques. *Angle Orthod.* 2003;73(2):176-80.
28. Aguirre MJ, King GJ, Waldron JM. Assessment of bracket placement and bond strength when comparing direct bonding to indirect bonding techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1982; 82: 269-276.
29. Flores T, Mayoral JR, Giner L, Puigdollers A. Comparison of enamel-bracket bond strength using direct- and indirect-bonding techniques with a self-etching ion releasing S-PRG filler. *Dent Mater J.* 2015;34(1):41-7.
30. Wong DM, Cheng LY, Chow TW, et al: Effect of processing method on the dimensional accuracy and water sorption of acrylic resin dentures. *J Prosthet Dent* 1999;81:300-304.
31. Reynolds IR. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod.* 1975;2:171-178.
32. Linn BJ, Berzins DW, Dhuru VB, Bradley TG. A Comparison of Bond Strength Between Direct- and Indirect-bonding Methods. *Angle Orthod.* 2006 Mar;76(2):289-94.
33. Bishara SE, Trulove TS. Comparisons of different debonding techniques for ceramic brackets: an in vitro study. Part I. Background and methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:145-53.
34. Zachrisson BU. Bonding in orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL Jr, editors. *Orthodontics, current principles and techniques.* St Louis: Mosby; 1994. p. 542-626.
35. De Almeida J B, Platt J A, Oshida Y, Moore B K, Cochran M A, Eckert G J 2003 Three different methods to evaluate microleakage of packable composites in Class II restorations. *Operative Dentistry* 28: 453-460.
36. Gladwin M, Bagby M. *Clinical Aspects of Dental Materials Theory, Practice, and Cases.* Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins 2004. p. 47-57.
37. Uysal T, Ulker M, Ramoglu SI, Ertas H. Microleakage under metallic and ceramic brackets bonded with orthodontic self-etching primer systems. *Angle Orthod* 2008;78:1089-94.
38. Öztürk F, Ersöz M, Öztürk SA, Hatunoğlu E, Malkoç S. Micro CT evaluation of microleakage under orthodontic ceramic brackets bonded with different bonding techniques and adhesives. *Eur J Orthod.* 2015; 8: 1-7.
39. Piwowarczyk A, Bender R, Ottl P, Lauer H C. Long-term bond between dual-polymerizing cementing agents and human hard dental tissue. *Dental Materials.* 2007; 23: 211-217.
40. Sener Y, Uysal T, Basciftci FA, Demir A, Botsali MS. Conventional and high-intensity halogen light effects on polymerization shrinkage of orthodontic adhesives. *Angle Orthod.* 2006;76:677-681.
41. Bal S, Samal S S. Carbon nanotube reinforced polymer composites—A state of the art. *Bull. Mater. Sci., Vol. 30, No. 4, August 2007, pp. 379-386.*

Anexo

Normas para submissão de artigo científico para a Revista *The Angle Orthodontist*

COVER LETTER - Must contain the following:

Copyright Releases - The following written statement, signed by one of the authors and acting on behalf of all of the authors, must accompany all manuscripts: "The undersigned author transfers all copyright ownership of the manuscript (fill in the title of your manuscript) to *The Angle Orthodontist* in the event the work is published. The undersigned author warrants that the article is original, is not under consideration for publication by another journal and has not been previously published. I sign for and accept responsibility for releasing this material on behalf of *any* and all coauthors."

Direct quotations, tables or images that have appeared elsewhere in copyrighted material must be accompanied by a signed release from the copyright owner. Complete information identifying the source of the material is required.

Patient Releases - A signed release must be obtained for all images that contain identifiable patients or human subjects. These releases must be retained indefinitely by the Corresponding Author. A cover letter must be submitted with the manuscript attesting to the fact that all applicable patient releases were obtained and are on file with the Corresponding Author.

Each release statement must be on a separate page, include the manuscript title, all authors' names and contain a copy of the following statement signed by the patient:

"I hereby grant all rights to publish photographs or other images of me in the above manuscript where I appear as a patient or subject without payment of any kind. I have been informed that any images of me that do appear may be modified."

ARTICLE FILE

Articles must be original and written in clear English. The total article file must be entered as one document and must contain the Title, Abstract, Text References and Figure Legends. The article file must not exceed a maximum of 3500 words. To determine the number of words in your document, go to the toolbar, click on tools and then click on word count.

Follow the proposed structure and subheadings whenever possible.

Please enter only the following items in the article file:

Title of the manuscript

Abstract - *The Angle Orthodontist* is using a structured abstract which must be limited to 250 words. The abstract should conform to the following outline and not contain an introduction, literature review or discussion.

ABSTRACT

Objective: List the specific goal(s) of the research.

Materials and Methods: Briefly describe the procedures you used to accomplish this work. Leave the small details for the manuscript itself.

Results: Identify the results that were found as a result of this study.

Conclusion: List the specific conclusion(s) that can be drawn based on the results of this study.

Manuscript text - Please remove all references to the author's identity or institutions as manuscripts are peer reviewed anonymously. An original article text will contain the following in order:

INTRODUCTION - This section states the purpose of the research and includes a brief summary of the literature describing the current state of the field.

MATERIALS AND METHODS -This section states exactly what was done and should enable a reader to replicate the work. Materials or methods described elsewhere in the literature can be referenced without repeating these details. Identify teeth using the full name of the tooth or the FDI annotation. If human subjects or animals were involved in the work, this section must contain a statement that the rights of the human or animal subjects were protected and approval was obtained from an identified institutional review board, or its equivalent.

RESULTS - This section should describe the objective findings without any comment on their significance or relative importance. Cite all tables and figures in sequential order in the text.

DISCUSSION - Only this section allows you freedom to interpret your data and to give your opinion of the value of your findings relative to previous work. All opinions must be limited to this section.

CONCLUSION - This section states what conclusions can be drawn specifically from the research reported. Bullet points are preferred. Do not repeat material from other sections..

REFERENCES - References cited must refer to published material. Number references consecutively in order of their appearance in the manuscript using superscript and Arabic numerals. References to "personal communication" or unpublished theses are not acceptable. The style and punctuation of references should strictly conform to *American Medical Association Manual of Style: A Guide for Authors and Editors*, 9th ed (Baltimore, Md: Williams & Wilkins; 1998). Consult previous issues of *The Angle Orthodontist* for guidance.

FIGURE LEGENDS - All figures must be numbered sequentially in the manuscript and a legend for each figure must appear in this section.

TABLE FILES

Each table must be in WORD or EXCEL format and entered as a separate file. Each table must have its own legend accompanying it, numbered with Arabic numerals and sequentially referred to in the text. All abbreviations used in the table must be defined in a footnote. Use * $P=.05$; ** $P=.01$; *** $P=.001$; **** $P=.0001$ as needed. Tables cannot be in pictorial or image formats. Pictorial or image formats are figures and must be entered as figures.

FIGURE FILES

Each figure must be of sufficient resolution for high quality publication usually in TIFF or EPS format. All images need to be at 300 DPI when the figure is of the size to be used in publication.

If you enter a large image at 300 DPI and reduce it to a much smaller size for publication, this will increase the DPI and the image will be very heavy and slow to open electronically. If you enter a small image (such as a 35 mm picture) and plan to enlarge it for publication, it needs to be entered at more than 300 DPI since enlargement will only reduce the resolution.

Figures in WORD or presentation software such as PowerPoint, Corel Draw or Harvard Graphics do not contain sufficient resolution for publication and will not be accepted. Authors will be charged for publication of figures in color.