

**Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ**

**Centro de Ciências da Saúde**

**Faculdade de Odontologia**

**AVALIAÇÃO DA RETENÇÃO E REPRODUTIBILIDADE  
DIMENSIONAL DE *ATTACHMENTS* EM ALINHADORES  
ORTODÔNTICOS DE DIFERENTES ESPESSURAS**

**Thais Prates Vieira**

CD

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos, para a obtenção do Título de Mestre em Odontologia, área de concentração Ortodontia.

Rio de Janeiro

2020

**AVALIAÇÃO DA RETENÇÃO E REPRODUTIBILIDADE DIMENSIONAL DE  
ATTACHMENTS EM ALINHADORES ORTODÔNTICOS DE DIFERENTES  
ESPESSURAS**

**THAIS PRATES VIEIRA, CD**

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Issamu Nojima

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos, para obtenção do Título de Mestre em Odontologia (Ortodontia).

**Comissão Examinadora**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Mônica Tirre de Souza  
Araújo

---

Prof. Dr. Eduardo Franzotti  
Sant'Anna

---

Prof. Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho

**Rio de Janeiro**

**2020**

**Ficha Catalográfica****VIEIRA, T.P.**

**Avaliação da retenção e reprodutibilidade dimensional de *attachments* em alinhadores ortodônticos de diferentes espessuras. Rio de Janeiro: UFRJ/Faculdade de Odontologia, 2020.**

**xxii, nº 50.**

**Dissertação de Mestrado em Odontologia (Ortodontia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Faculdade de Odontologia, 2020.**

**1 Aparelho ortodôntico removível      2 Desenho de aparelho ortodôntico**

**3 Fenômenos biomecânicos      4 Teses**

**I Título**

**II Dissertação (Mestrado - UFRJ/Faculdade de Odontologia)**

**Linha de Pesquisa: Físico-química e estrutura dos materiais biocompatíveis**

**Projeto: Avaliação da retenção e reprodutibilidade dimensional de *attachments* em alinhadores ortodônticos de diferentes espessuras.**

**Comitê de Ética Nº Permissão:** não se aplica. Esta é uma pesquisa experimental e laboratorial para análises dimensionais de dados relacionados à resistência ao tracionamento de alinhadores de plásticos e seus acessórios.

## DEDICO

Aos meus pais, **Glaucia Prates Vieira e José Vieira de Carvalho Junior** por sempre me apoiarem e serem capazes de abrir mão da própria felicidade, em prol da minha. Pai, obrigada pelo sacrifício de ter abdicado ficar perto da família e ter ido para longe de casa levar a paz para o mundo, literalmente. Tenho muito orgulho de tudo o que fez pelo nosso bem. Mami, obrigada por ter sido a melhor mãe que eu poderia ter, que se desdobrou por muito tempo sozinha, cuidando de dois filhos, tudo com um sorriso no rosto. Todo sacrifício feito nunca será esquecido. Muito obrigada por tudo, amo vocês.

## AGRADECIMENTOS

À **Deus** por Sua fidelidade, guardou meus sonhos e cuidou de cada um deles. Mesmo eu não sendo merecedora, o Senhor sempre esteve comigo e durante essa caminhada nunca me senti só. Tu és minha rocha, somente em Ti confiarei. Te amo, paizinho amado.

Ao meu irmão **Daniel Prates Vieira**, carinhosamente conhecido como Nite. Eu tenho o privilégio de viver com um anjinho, que nunca reclamou de uma coisa sequer, ri das coisas mais bobas, que me ensina e motiva a ser uma pessoa melhor todos os dias. Espero que em cada abraço arroxado que te dou, você sinta o quão grande é o meu amor por você.

Aos meus avós maternos **Nancy de Carvalho Prates** e **Darcy de Carvalho Prates** por serem meus fãs número 1. A participação de vocês na minha criação foi um privilégio pois me mostraram que o amor existe e com ele, tudo é possível. Esses meus avós são meu orgulho e espero um dia honrar tudo o que fizeram e ainda fazem por nós.

Aos meus avós paternos **Edinilza Lima de Carvalho** e **José Vieira de Carvalho** (*in memoriam*) pelos bons momentos, conversas e carinhos mesmo de longe.

Às minhas amigas **Caroline Pozzolini do Couto** e **Raquel Lopes** que me suportaram ao longo dos dois anos mais intensos da minha vida. Carol sua paciência e amabilidade foi ímpar, me trazendo a normalidade nos meus momentos de maiores devaneios. Quel, sua compreensão e disposição ao me ouvir nos deixaram mais cúmplices, o que eu achei que não seria mais possível. Sou grata a Deus por ter encontrado amigas que posso chamar de irmãs.

Aos meus tios, primos e aos demais familiares por todo carinho, torcida pelas minhas conquistas e presença constante em minha vida.

Ao meu querido orientador **Prof. Dr. Lincoln Issamu Nojima**, cujo carinho, suporte e empenho desde o surgimento da primeira ideia, da luta em obter e rodar a amostra e até os ajustes finais, me incentivou a ultrapassar e vencer as dificuldades na elaboração desse trabalho, minha gratidão.

Ao **Prof. Dr. Rodrigo Lopes de Lima** por ter nos ajudado em todos os momentos tribulosos e pela paciência durante o ensinamento durante o primeiro ano do mestrado. Sua presença fez a diferença. Fico honrada em saber que posso chamá-lo de amigo.

A **Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Maria Bolognese** por ter sido uma inspiração de professora e pesquisadora. Seu brilhantismo, humildade, abnegação aos alunos e ao ensino de excelência, é sentido por todos os alunos que passam pelas suas mãos. Muito obrigada por tudo, jamais esquecerei.

A **Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Matilde da Cunha Gonçalves Nojima** pelo carinho ao falar e ao ouvir, pela incrível disposição em ajudar todos que precisam e pela dedicação em fazer e pensar no melhor para os alunos e pacientes. A senhora fez e faz a diferença, obrigada por tudo.

A **Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Margareth Maria Gomes de Souza** pelos momentos de apoio e estar incondicionalmente disposta a ajudar. Seus ensinamentos foram valiosos para a minha formação.

Ao **Prof. Dr. Fernando Stangler Brazzalle** pelos 30 anos de devoção ao magistério e irrefutável luta em ensinar os preceitos básicos e fundamentais para a formação de Ortodontistas de excelência. Levarei seus ensinamentos comigo.

Ao **Prof. Dr. Antônio Carlos de Oliveira Ruellas**, que mesmo de longe era capaz de abrir espaço na sua agenda lotada e nos ministrar aulas que eu gostaria de jamais esquecer. Obrigada por todos ensinamentos, momentos de risada e pelo acolhimento fraternal.

Ao **Prof. Dr. José Vinicius Bolognesi Maciel**, pelos momentos laboratório do primeiro ano, que era sério e ao mesmo tempo divertido conosco. Obrigada pela disposição em nos ajudar, com muita paciência e respeito.

À **Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Carneiro da Cunha**, pelos ensinamentos, admirável abnegação à profissão, dedicação à pesquisa e momentos de descontração.

Ao **Prof. Dr. Eduardo Franzotti Sant'Anna**, pelos incríveis *insights* durante a clínica, valiosos ensinamentos durante os seminários e dedicação aos pacientes.

À **Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Monica Tirre de Souza Araújo**, por todo ensinamento e aprendizado agregado.

Ao **Prof. Dr. Luiz Felipe Cardoso de Araújo**, por toda disposição a ajudar, dedicação ao Departamento, amizade e bons momentos.

Ao **Prof. Dr. Sérgio Luiz Mota Júnior**, pela amizade, dedicação ao Departamento, companhia e dedicação à Ortodontia.

Ao **Prof. Dr. Fábio Ribeiro Guedes**, pela amizade sincera que encontrei na Radiologia, ensinamentos preciosos e carinho. Obrigada por ser a diferença.

À **Profª Drª Mônica Diuana Calasans Maia**, que botou a semente da pesquisa científica em mim. Muito obrigada pela oportunidade concedida e por sempre me fazer sentir parte da família.

Ao **Prof. Dr. Felipe de Assis Ribeiro Carvalho**, pela gentileza e disponibilidade na leitura dessa dissertação.

Aos professores das disciplinas conexas **Dr. Alexandre Rezende Vieira, Dra. Andreia Cristina Breda de Souza, Dr. Bruno Santos de Barros Dias, Dr. Carlos Nelson Elias, Dr. Elson Braga de Mello, Dr. Fábio Ribeiro Guedes, Dr. Ivo Carlos Corrêa, Dr. Jonatas Esteves Caldeira, Dra. Maria Augusta Visconti, Dra. Maria Cynésia Medeiros de Barros Torres, Dra. Patrícia de Andrade Risso, Dr. Rafael Seabra Louro, Dr. Ramiro Beato Souza, Dr. Ronir Raggio Luiz e Dra. Sandra Regina Torres**, pelas aulas imprescindíveis para complementação da minha formação acadêmica e profissional.

Às minhas queridas colegas de turma 54, **Annanda Pinheiro Martins, Daniela Gomes Rezende de Azevedo, Luíza Trindade Vilela, Luísa Schubach da Costa Barreto e Taiane dos Santos Lopes** por termos seguido fortes lutando contra o estigma pré-existente, uma contando com a outra, nos levando a uma ótima convivência, cheio de cumplicidade e alegria. Sem dúvidas, fomos exemplares e não poderíamos ter sido uma turma melhor.

Aos colegas da turma 53, **Cecília Sued Leão, Gonzalo Alejandro Muñoz Arias, Karoline de Melo Magalhães e Laura Borges** pelos momentos divertidos e troca de experiências.

Aos colegas da turma 55, **Éricles Otávio Santos, Letícia Landeyara Dantas de Sant'Anna, Mariana Braz Herzog, Marina Viudes Bruder Câmara, Rafael Cunha de Bittencourt e Sarah Braga Sayão**, pela ótima convivência, pelos momentos de descontração e amizade.

Aos queridos **Guilherme Picolli Bernd, Maristela Fátima Traesel e Vinícius Graeff Stürmer** da empresa **Click Aligner**, que com muita gentileza, disponibilizaram o material para essa pesquisa acontecer, sempre abertos à alterações, sugestões e oferecendo todo apoio necessário. Muito obrigada.

Aos amigos do doutorado **Karoline de Melo Magalhães, Flávio de Mendonça Copello, Katherine J. de C. M. P. Silver, Sylvia de Araújo Paes Souza, Kelly Galisteu Luiz, Larine Ferreira Lira, Alice Spitz, Carolina Ribeiro Starling, Daniel Paludo Brunetto, Fernanda Blaudt Carvalho Marques, Georgia Wain Thi Lau, Hibernon Lopes Filho, Johnny de Gawn, Jamille Barros, Lilian Siqueira de Lima e Pedro Lima Emmerich Oliveira** pelo convívio de carinho e amizade. Um agradecimento especial à **Bruna Caroline Tomé Barreto** por ter sido uma verdadeira veterana mesmo depois no doutorado, sempre esteve disponível, se importou e nos ajudou em que pedíamos sem pestanejar, ao **Guido Artemio Marañon-Vasquez**, que acreditou em mim para apresentar seu trabalho de dissertação, fez-se disponível para ajudar com esse trabalho, pela troca de ensinamentos, paciência ao ouvir minhas doideiras e amizade em todos os momentos e ao **Eduardo Otero Amaral Vargas** que durante a realização desse trabalho me surpreendeu positivamente por todo o apoio, suporte, paciência e amizade. Sua contribuição foi imprescindível para o sucesso dessa dissertação, muito obrigada.

Aos funcionários, **Diane Esteves de Souza Gomes, Laís Paiva Monteiro, Mônica Mello do Nascimento Gonçalves, Guilhermino Estanhe Saturnino e Edinaldo da Silva**, pela ajuda, conversa, carinho, amizade e disponibilidade.

Aos **alunos da Disciplina de Ortodontia da graduação da UFRJ** das turmas 2019/1 e 2019/2 que foram de extrema importância na minha formação como mestre. Através de uma convivência plena e agradável, foi um prazer transmitir meus conhecimentos com vocês e colocar em prática a arte de lecionar.

Aos queridos **pacientes da Clínica de Ortodontia do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da UFRJ**, obrigada pelo carinho, conversas e momentos divertidos. Vocês foram essenciais na minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**), pela bolsa de estudos concedida, auxiliando na minha formação acadêmica e profissional.

A todos que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional, permitindo alcançar essa vitória tão sonhada que é a minha formação de Ortodontista pela mais respeitada universidade do Brasil, meu **MUITO OBRIGADA!**

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”

“Nem olhos viram, nem ouvidos ouviram, nem jamais penetrou o coração humano, o que Deus tem preparado para aqueles que O amam”

1 Coríntios 2:9

## RESUMO

VIEIRA, Thais Prates. **Avaliação da retenção e reprodutibilidade dimensional de *attachments* em alinhadores ortodônticos de diferentes espessuras.**

Orientador: Dr. Lincoln Issamu Nojima. Rio de Janeiro: UFRJ/Faculdade de Odontologia, 2020. Dissertação (Mestrado em Odontologia – Ortodontia) xxi,50f.

Este estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de retenção que os *attachments* proporcionam aos alinhadores ortodônticos, bem como analisar a reprodutibilidade dos *attachments* a partir do planejamento digital até a sua reprodução clínica. A amostra foi composta por dezesseis modelos, divididos em 2 grupos, sendo oito no grupo controle impresso (GCI), onde os *attachments* eram impressos no modelo e outros oito modelos no grupo experimental de resina (GER), cujos *attachments* foram colados manualmente a partir de uma guia de transferência. Cada grupo foi dividido em outros 4 subgrupos, de acordo com o posicionamento dos *attachments* em determinados dentes e orientação do tal acessório no formato retangular: canino a 2º pré-molar horizontal (HPM), canino a 1º molar horizontal (HM), canino a 2º pré-molar vertical (VPM) e canino a 1º molar vertical (VM). Placas de PETG foram termoformados para um total de 80 alinhadores, sendo 40 para o grupo GCI e outros 40 para o grupo GER nas

espessuras de 0.6 mm e 0.8 mm. Os modelos dos grupos GCI e GER foram escaneados e analisados por comparação digital para avaliação da morfologia dos *attachments*. Em seguida, os alinhadores foram submetidos a ensaio mecânico de tração. A análise qualitativa mostrou que as bases dos *attachments* colados possuem excesso de resina, dificultando a criação de ângulos vivos. Ao analisar qualitativamente a morfologia do grupo GER foi possível verificar que os *attachments* colados tiveram suas bases em dimensões maiores que o planejado. O grupo GER apresentou melhores retenções que os grupo GCI. Não há diferença estatística na orientação do acessório e no número de dentes que possuem os dispositivos. Entretanto, há diferença estatística quanto à espessura de PETG onde as placas de 0.8 mm forneceram maior retenção. Neste caso, os *attachments* horizontais com colagem até os molares apresentam a maior média de retenção estatisticamente significativa ( $p < 0.01$ ) quando comparados aos outros *attachments* no grupo experimental. Conclui-se que as placas de 0.8 mm conferem retenção superior do que as de espessura 0.6 mm, e também que a combinação de *attachments* na horizontal com colagem de canino a molar proporcionam maior retenção quando comparados à outra orientação e ao número de dentes envolvidos.

## SUMMARY

VIEIRA, Thais Prates. **Evaluation of retention and dimensional reproducibility of attachments in orthodontics aligners of different thicknesses.** Orientador: Dr. Lincoln Issamu Nojima. Rio de Janeiro: UFRJ/Faculdade de Odontologia, 2020. Dissertação (Mestrado em Odontologia – Ortodontia) xxi, 50f.

This study aimed to evaluate the retention capacity that attachments provide to orthodontic aligners, as well as to analyze the reproducibility of attachments made from guides made for this purpose. The sample consisted on sixteen models which were divided into 2 groups, eight in the printed control group (PCG), whose attachments were printed onto the model and eight in the experimental resin group (ERG), whose attachments were bonded manually from transfer guide. Each group was subdivided into 4, according to the positioning and orientation of the attachments: horizontal premolar (HPM), horizontal molar (HM), vertical premolar (VPM) and vertical molar (VM). PETG acetate aligners were thermoformed for a total of 80 aligners, 40 for the PCG group and another 40 for the ERG group in thicknesses of 0.6 mm and 0.8 mm. The models of the PCG and ERG groups were scanned and analyzed by digital comparison to assess the morphology of the attachments. Then, the aligners were subjected to mechanical tensile testing. The

qualitative analysis showed that the bases of the bonded attachments have excess resin, making it difficult to create sharp angles. When analyzing the morphology of the ERG group, it was possible to verify they had the bases in larger dimensions than planned. The ERG group had better retentions than the PCG group. There is no statistical difference in the orientation of the accessory and in the number of teeth that the devices have when the attachments are grouped. However, a statistical difference occurs regarding the observed thickness of acetate whose 0.8 mm aligners provided greater retention. In this case, the horizontal attachments with bonding up to the molars have the highest statistically significant retention average ( $p < 0.01$ ) when compared to the other attachments in the experimental group. It is concluded that the 0.8 mm aligners provide superior retention than those of 0.6 mm thickness, and also that the combination of horizontal attachments with molar canine bonding provides greater retention when compared to the other orientation and the number of teeth involved.

## LISTA DE SIGLAS

<b>GCI</b>	Grupo controle impresso
<b>GER</b>	Grupo experimental em resina
<b>HPM</b>	<i>Attachment</i> na horizontal de canino até pré-molar
<b>HM</b>	<i>Attachment</i> na horizontal de canino até molar
<b>kN</b>	QuiloNewton
<b>mm</b>	Milímetro
<b>N</b>	Newton
<b>PETG</b>	Politereftalato de etileno glicol
<b>s</b>	Segundo
<b>STL</b>	Standart triangle language
<b>VPM</b>	<i>Attachment</i> na vertical de canino até pré-molar
<b>VM</b>	<i>Attachment</i> na vertical de canino até molar

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> Modelo digital inicial seguindo critérios de inclusão.....	7
<b>Figura 2</b> Modelo digital com posicionamento dos <i>attachments</i> : (1) verticais e (2) horizontais.....	8
<b>Figura 3</b> (1) Modelo digital com <i>attachments</i> horizontais de canino até 2º pré-molar; (2) Modelo digital com <i>attachments</i> horizontais de canino até 1º molar.....	8
<b>Figura 4</b> Dimensões do <i>attachment</i> retangular em um pré-molar, que foram alterados em 90º de acordo com o subgrupo selecionado.....	9

<b>Figura 5</b>	Variações dos <i>attachments</i> : 1 vertical até 2° pré-molar (VPM), 2 vertical até 1° molar (VM), 3 horizontal até 2° pré-molar (HPM) e 4 horizontal até 1° molar (HM).....	10
<b>Figura 6</b>	Modelo digital selecionado: (1) base niveladora em azul; (2) reentrância na margem vestibular do processo alveolar.....	12
<b>Figura 7</b>	Vista oclusal do modelo digital com três perfurações centrais.....	13
<b>Figura 8</b>	Elipse indicando região dos nichos com excesso de resina....	14
<b>Figura 9</b>	Espátula pressionando todas as margens dos acessórios para que ficassem bem definidos.....	14
<b>Figura 10</b>	Linha de orientação para recorte do alinhador (seta).....	15
<b>Figura 11</b>	(1) Dispositivos acoplados à EMIC para realizar os ensaios: célula de carga conectado aos ganchos, encaixados no alinhador ligado à base. (2) Detalhe dos ganchos encaixados no alinhador.....	

**Figura 12** (1) Base desenvolvida para fixar o modelo à EMIC. Possui três perfurações centrais na placa de aço onde o modelo é aparafusado. (2) Modelo fixado na base..... 18

## LISTA DE QUADROS

	<b>Página</b>
<b>Quadro I</b> Sigla para distribuição dos <i>attachments</i> no modelo.....	9
<b>Quadro II</b> Distribuição da amostra de modelos e alinhadores.....	11
<b>Quadro III</b> Sigla de identificação quanto à espessura dos alinhadores.....	12

---

## ÍNDICE

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
2	<b>PROPOSIÇÃO</b> .....	6
3	<b>DELINEAMENTO DA PESQUISA</b> .....	7
4	<b>DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA</b> .....	20
4.1	ARTIGO: VIEIRA, T.P.; VARGAS, E.O.A.; MARAÑÓN-VÁSQUEZ, G.A. ; BERND, G.P.; NOJIMA, L.N. EVALUATION OF RESISTANCE AND DIMENSIONAL REPRODUCIBILITY OF ATTACHMENTS IN ORTHODONTICS ALIGNERS WITH DIFFERENT THICKNESS. A ser submetido no periódico <i>The Angle Orthodontist</i> .....	21
5	<b>DISCUSSÃO</b> .....	31

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO: Termo de Consentimento do Banco de Dados .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O movimento dentário através de uma sequência de fases planejadas por enceramentos em *set ups*, foi utilizado pela primeira vez por Kesling em 1945, que propôs a correção de pequenos apinhamentos, pelo uso de um aparelho plástico flexível, reposicionando os dentes na oclusão ideal (Kesling, 1945). Dessa forma, foi possível observar uma associação entre o resultado planejado e o obtido no final do tratamento. Contudo, o autor notou que um maior movimento dentário seria obtido com uma série de posicionadores gerados pelo movimento do dente no *set up*, progressivamente, assim que o tratamento avançasse. Confirmou ainda, que a tecnologia existente daquela época não permitia tal procedimento, mas que sua aplicação prática poderia ser desenvolvida no futuro (Kesling, 1945; Kesling, 1946).

Trinta anos depois, outros autores seguiram variações da ideia original de Kesling. Ponitz apresentou o mantenedor transparente termoplastificado, usado para contenções (Ponitz, 1971). No final dos anos 90, a prática da redução interproximal foi adicionada às contenções transparentes, produzindo correções em pequenas escalas de movimento. Mesmo com tal acréscimo, mantinha-se o princípio de que para cada ligeiro deslocamento dentário, era preciso um novo *set up*. Dessa forma, uma nova moldagem tinha que ser realizada a cada visita ao

dentista. Esse processo despendia um grande montante de tempo clínico e laboratorial (Sheridan et al., 1993).

Em 1999, a Align Technology™ (Santa Clara, Califórnia) desenvolveu o sistema Invisalign®, no qual uma sequência de alinhadores transparentes, eram termoformados a partir de modelos gerados com movimentos dentários sucessivos e específicos pela manipulação virtual em tecnologia digital tridimensional, criando uma sequência personalizada para cada paciente (Faltin et al., 2002; Kuo and Miller, 2003; Kravitz et al., 2009; Hennessy and Al-Awadhi, 2016). Essa companhia foi pioneira em utilizar o sistema *CAD/CAM*, sigla inglesa para expressar *CAD* (*computer-aided design* [desenho assistido por computador]) e *CAM* (*computer-aided manufacturing* [manufatura assistida por computador]), para reproduzir e manipular a maloclusão dos pacientes obtida através de escaneamento digital, eliminando as sucessivas moldagens entre as sessões. Foi possível então através de uma única impressão, mesmo com múltiplas demandas de movimentação ortodôntica, confeccionar a quantidade de alinhadores necessária para correção completa de todos os desvios que fossem identificados e planejados (Faltin et al., 2002; Wong, 2002; Kuo and Miller, 2003; Hajeer et al., 2004; Kravitz et al., 2009).

Como visto ao longo do tempo, várias alterações foram adicionadas na Ortodontia tradicional, surgindo novas prescrições ortodônticas e ferramentas para auxiliar a eficiência e evolução do tratamento de maloclusões (Agrawal et al., 2018). Com o avanço da tecnologia, houve também grande busca de estética e conforto pelos pacientes, que utilizavam aparelhagem fixa convencional (Miller et al., 2007; Rosvall et al., 2009; Azaripour et al., 2015; Flores-Mir et al., 2018).

A sociedade, cada vez mais exigente, procura uma aparência mais bela e perfeita, em especial no sorriso, fator considerável na autoestima, na qualidade de

vida e no sucesso social da população (Nold et al., 2014; Pithon et al., 2014). O aumento da demanda por tratamento ortodôntico em adultos fez com que aumentasse a busca por aparelhos estéticos, em substituição aos bráquetes metálicos (Ziuchkovski et al., 2008; Rosvall et al., 2009; Kuhlman et al., 2016; Sarul et al., 2019). Assim, os aparelhos termoplastificados preencheram essa demanda e aumentaram sua popularidade devido às suas características estéticas e translúcidas (Hichens et al., 2007; Ziuchkovski et al., 2008; Rosvall et al., 2009; Kuhlman et al., 2016; Sarul et al., 2019).

Com o advento dos alinhadores, foram observadas três gerações de aparelhos dessa modalidade: a primeira geração, mais precoce, acreditava que o próprio alinhador seria capaz de gerar o movimento ideal para correção do dente, sem qualquer tipo de elemento auxiliar incorporado (Hennessy and Al-Awadhi, 2016). A segunda geração surgiu com um sistema mais avançado, onde elásticos intermaxilares e *attachments* foram incorporados para melhorar o movimento dentário (Hennessy and Al-Awadhi, 2016). Contudo, segundo Kravitz *et al.*, não houve diferença estatisticamente relevante entre pacientes tratados com *attachments* e sem eles (Kravitz et al., 2008). No ano seguinte, os mesmos autores observaram que 41% dos movimentos previstos digitalmente no sistema Invisalign® foram alcançados, concluindo que ainda haveria muito a se saber sobre a biomecânica e eficácia do sistema de alinhadores (Kravitz et al., 2009). A terceira geração, em um esforço de aprimorar os resultados e alcançar domínio da biomecânica, surgiu a partir do desenvolvimento de um software de planejamento digital, que pelo programa do fabricante incluía automaticamente os *attachments* com os quais os movimentos mais críticos de serem executados, como as extrusões, rotações e torque, poderiam ser alcançados. Os tipos de *attachments*

mais comumente utilizados são elipsoide, biselado e retangular. Edentações nos alinhadores foram adicionadas para melhorar as regiões onde o movimento de torque é exigido (Hennessy and Al-Awadhi, 2016).

Os *attachments* foram introduzidos para auxiliar em casos em que há necessidade de movimentos não previsíveis (Nojima et al., 2019), permitindo o aumento de recursos mecânicos para o ortodontista. Esses acessórios são feitos de resina fotopolimerizável com carga, de cor compatível com a cor do dente do paciente sendo fixados à superfície dentária por um sistema adesivo (Barreda et al., 2017; Nojima et al., 2019) e possuem diversos formatos (Dasy et al., 2015; Hennessy and Al-Awadhi, 2016; Nojima et al., 2019). O tamanho, a forma e o local de colagem dos *attachments* determinam o seu efeito desejado e, conseqüentemente, o êxito no movimento dentário (Weir, 2017). Desde que os *attachments* foram considerados ferramentas importantes nos alinhadores estéticos, otimizando, auxiliando e direcionando a força aplicada sobre os dentes, é de extrema importância que os mesmos mantenham sua integridade e formato (Kravitz et al., 2008; Simon et al., 2014; Dasy et al., 2015; Rossini et al., 2015). Da mesma forma, a conformação do material termoplastificado que gera os *attachments* deve acompanhar tal qualidade.

Como há escassez de detalhamento na literatura a respeito da padronização e do contorno dos *attachments*, em relação à variação das espessuras de PETGs, e a carga que eles resistem ao deslocamento, o presente estudo se propõe a analisar estas questões.

## 2 PROPOSIÇÃO

A proposta dos autores foi avaliar:

2.1 a capacidade de retenção que os *attachments* fornecem aos alinhadores para permitir movimentos não previsíveis, simulado pelo ensaio de tração, comparando:

2.2.1 as variáveis em relação aos grupos controle GCI e experimental GER;

2.2.2 os grupos separadamente em relação a orientação do acessório no sentido horizontal e vertical, a quantidade de dentes com colagem de *attachments* e a espessura do PETG de 0.6 e 0.8 mm;

2.2.3 e, a espessura dos alinhadores em relação as variáveis orientação e número de dentes com *attachment*; e,

2.2 qualitativamente os modelos dentais impressos, observando a reprodução da morfologia dos *attachments* confeccionados em resina.

### 3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

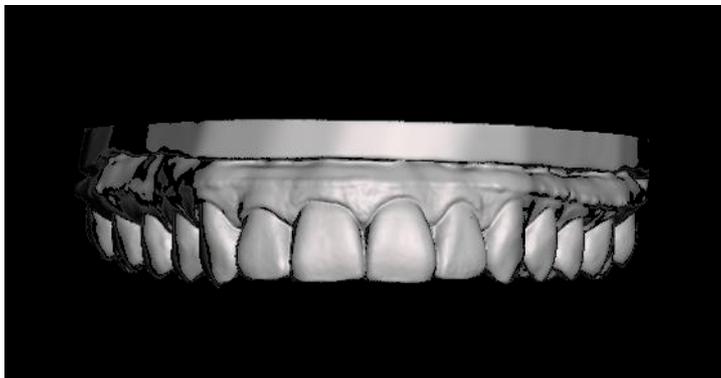
Esta é uma pesquisa experimental e laboratorial para análises quantitativas e qualitativas de dados relacionados aos modelos dentais impressos com tecnologia 3D e seus respectivos alinhadores ortodônticos.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Usando fórmula para comparação de duas médias (Pocock, 1983), foi realizado cálculo do tamanho amostral, para detectar diferença mínima de 0,8 g/F na força de tração utilizada para retirada de alinhadores de modelos impressos usando dois tipos de *attachments* diferentes, horizontal e vertical (estudo piloto, 3 amostras). Considerando como parâmetros um poder de 80%, nível de significância do 5% e assumindo o desvio padrão de 0,45 g/F (estudo piloto), um mínimo de 5 amostras por grupo foram necessárias. Comparações prévias considerando as outras variáveis estudadas (extensão do uso dos *attachments* e espessura dos alinhadores) deram diferenças maiores, resultando em cálculos do tamanho amostral menores. Conseqüentemente, a pior condição foi considerada.

A montagem da amostra consistiu na confecção do modelo dentário prototipado e *attachments* adaptados à superfície vestibular de alguns dentes dos mesmos modelos. Como critério de inclusão para confecção do modelo, o protótipo

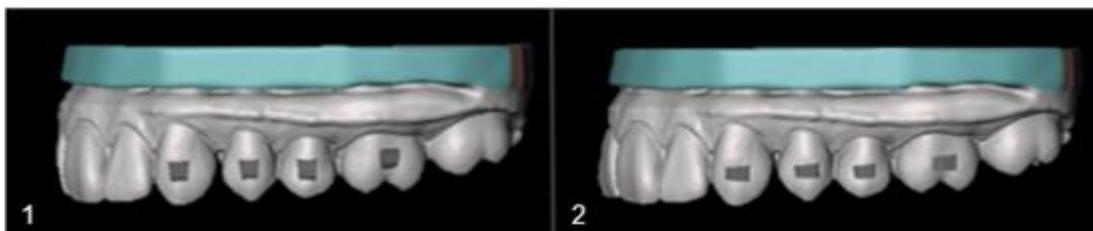
foi idealizado seguindo os princípios de oclusão excelente, onde os primeiros molares superiores e inferiores, tanto do lado direito quanto do lado esquerdo, estivessem em chave de oclusão: as cúspides méso-vestibulares dos primeiros molares superiores ocluindo nos sulcos vestibulares dos primeiros molares inferiores, respectivamente. Os demais dentes deveriam estar com alinhamento e nivelamento ideais. O modelo inferior foi excluído aleatoriamente, e trabalhou-se somente com a arcada superior. Sendo assim, foi selecionado um modelo ao acaso, que cumprisse tais critérios mencionados anteriormente (Figura 1), do arquivo da clínica de Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sendo liberado o uso do acervo através do Termo de Consentimento da Utilização do banco de dados da disciplina de Ortodontia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Anexo 1).



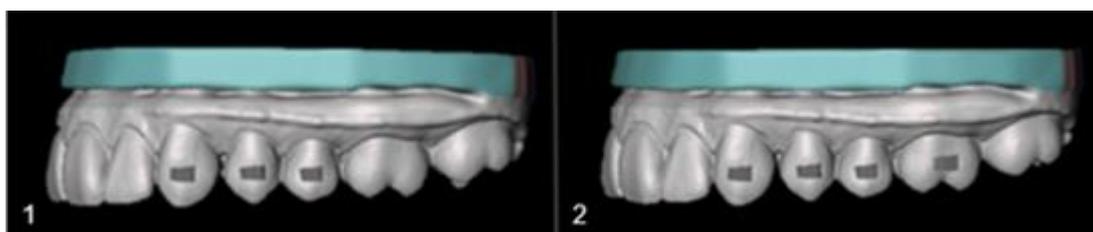
**Figura 1** Modelo digital inicial seguindo critérios de inclusão

Para a obtenção dos modelos digitais, foi utilizado um Scanner Intrabucal (CS 3600 Carestream®, Atlanta, Georgia USA) para gerar o arquivo no formato STL. A partir do arquivo gerado, os modelos digitais foram preparados pelo software Meshmixer™ (versão 3.5.474 Autodesk®, Inc., Delaware, USA). Após o estabelecimento do modelo digital, foram selecionadas as variáveis forma e

localização dos *attachments*. O formato do acessório escolhido foi o retangular, que alternou nas direções vertical e horizontal e a localização quanto a extensão dos acessórios até pré-molar ou molar (Figura 2 e 3).

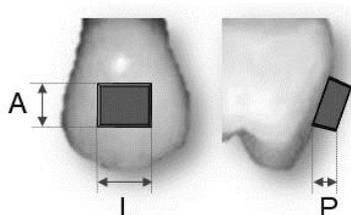


**Figura 2** Modelo digital com posicionamento dos *attachments*: (1) verticais e (2) horizontais.



**Figura 3** (1) Modelo digital com *attachments* horizontais de canino até 2º pré-molar; (2) Modelo digital com *attachments* horizontais de canino até 1º molar.

Tanto a mudança da orientação vertical e horizontal do *attachment*, como dos dentes em que os acessórios foram posicionados, serviram como avaliação para saber se o acréscimo de *attachment* resultaria num aumento no grau de retenção do alinhador. O tamanho dos acessórios de resina foi padronizado e sua localização foi estabelecida no ponto central da superfície vestibular dos dentes envolvidos, tanto no sentido mésiovestibular quanto cérvico-oclusal (Figura 4, página 9).



Dimensões:  
 Altura (A): 2 mm  
 Largura (L): 3 mm  
 Proeminência (P): 1,5 mm

*Attachments* foram colocados na orientação vertical ou horizontal

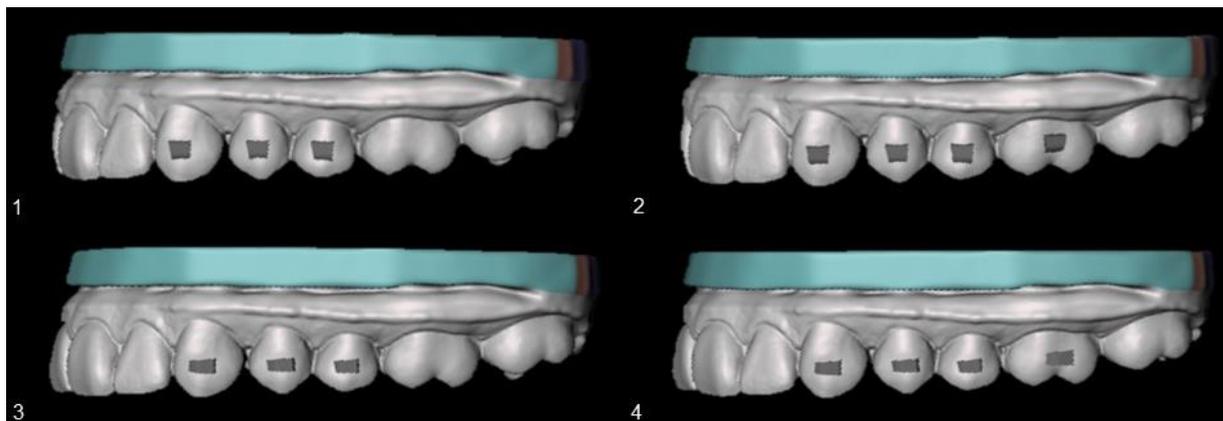
**Figura 4** Dimensões do *attachment* retangular em um pré-molar, que foram alterados em 90° de acordo com o subgrupo selecionado.

As variações dos *attachments* resultaram em 4 formatos de modelo, os quais foram divididos em grupamentos (Quadro 1 e figura 4, página 10). Dois modelos apresentaram *attachments* retangulares verticais e dois *attachments* horizontais. Dentro desse grupamento, cada um teve um posicionamento específico, diferenciando-os em: colados de canino até 2º pré-molar e de canino até 1º molar. Tais alterações formaram os modelos com *attachments* verticais de canino até 2º pré-molar (VPM), *attachments* verticais de canino até 1º molar (VM), *attachments* horizontais de canino até 2º pré-molar (HPM) e *attachments* horizontais de canino até 1º molar (HM).

**Quadro 1** Sigla para distribuição dos *attachments* nos modelos

Amostra	Orientação dos <i>attachments</i>	
	Verticais	Horizontais
Canino a pré-molar	VPM	HPM
Canino a molar	VM	HM

Exemplificando: VPM representa o grupo com *attachments* verticais, de canino a pré-molar.



**Figura 4** Variações dos *attachments*: (1) vertical até 2º pré-molar (VPM), (2) vertical até 1º molar (VM), (3) horizontal até 2º pré-molar (HPM) e (4) horizontal até 1º molar (HM)

Com a definição dos *attachments*, dois grupos foram criados: o primeiro foi um grupo controle impresso (GCI) e o segundo foi o grupo experimental em resina (GER). No GCI os *attachments* foram impressos como parte integrante do modelo, para que assim os acessórios planejados pudessem ser avaliados, pois a impressão tridimensional confere exatidão na impressão sobre o projeto planejado digitalmente. No GER, foram confeccionados *attachments* utilizando o compósito fotopolimerizável Filtek Z100 (3M Unitek, Monrovia, Califórnia, EUA), reproduzindo o protocolo clínico já conhecido para uso de alinhadores, com template de PETG numa espessura de 0,5 mm.

Com os modelos planejados, pôde se iniciar a impressão dos modelos. A impressão foi realizada através impressora Form 2 (Formlabs, Massachusetts, USA) com resina SLA para impressão tridimensional ClickDental (Click Aligner, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil). A termoplastificação das placas de PETG foi realizada com uma plastificadora de pressão Biostar (Scheu Dental, Iserlohn, Alemanha) utilizando modelos no estilo GCI para que este servisse de

impressão positiva do alinhador, respeitando cada grupamento. Foram utilizadas placas de PETG de 0.6 mm e 0.8 mm confeccionadas em copoliéster (PETG - Politereftalato de etileno glicol) ClickFlex 3.0 (Click Aligner, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil).

Como foi visto anteriormente, a amostra de modelos desse estudo foi dividido em GCI e GER, e para cada grupamentos de modelos seria encaixados alinhadores de duas espessuras diferentes (0,6 mm e 0,8 mm). Como são quatro subgrupos, foram utilizados 8 modelos em GCI e 8 modelos em GER. Ainda no mesmo fluxo de pensamento, como foi observado na caracterização da amostra, selecionou-se o número de 5 alinhadores para o ensaio, sendo assim, com as quatro variações de orientação e dentes selecionados, tivemos 40 alinhadores para GCI e 40 alinhadores para GER (Quadro II).

**Quadro II** Distribuição da amostra de modelos e alinhadores

Amostra	Modelos (n=16)		Alinhadores (n=80)			
	GCI (n=8)	GER (n=8)	GCI (n=40)		GER (n=40)	
			0.6mm	0.8mm	0.6mm	0.8mm
VPM	2	2	5	5	5	5
VM	2	2	5	5	5	5
HPM	2	2	5	5	5	5
HM	2	2	5	5	5	5

Antes de realizar o ensaio mecânico de tração, as placas e modelos foram identificados manualmente para que não houvesse repetição, tornando seu uso único (quadro III, página 12).

**Quadro III** Sigla de identificação quanto à espessura dos alinhadores

Amostra (n=80)	Espessura dos alinhadores	
	0.6 mm (n=40)	0.8 mm (n=40)
VPM	VPM6	VPM8
VM	VM6	VM8
HPM	HPM6	HPM8
HM	HM6	HM8

Exemplificando: VPM6 representa o grupo com attachments verticais, de canino a pré-molar que recebeu o alinhador da espessura 0.6 mm.

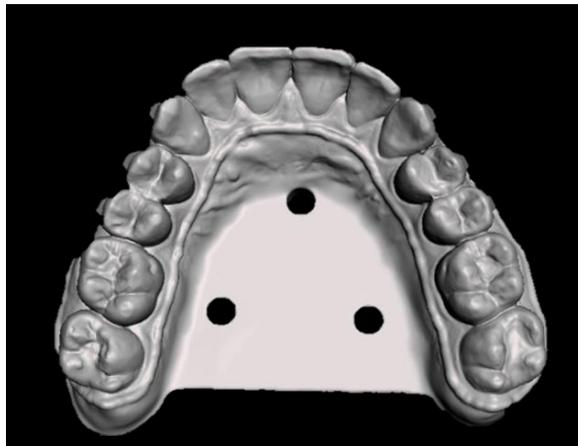
### 3.2 PREPAROS DOS CORPOS DE PROVA

O preparo digital dos modelos seguiu o seguinte padrão: foi incorporada uma base niveladora ao modelo (Figura 6), que deixava a distância da base até as pontas de cúspides dos pré-molares na mesma altura, tanto do lado direito quanto do lado esquerdo. No processo alveolar, na porção vestibular, foi criada digitalmente uma reentrância em todo o perímetro da arcada, gerando espaço suficiente para que os ganchos acoplassem no plástico.



**Figura 6** Modelo digital selecionado: (1) base niveladora em azul; (2) reentrância na margem vestibular do processo alveolar.

No centro do modelo, três orifícios de ancoragem permitiam a fixação do modelo à base de aço inoxidável (Figura 7).



**Figura 7** Vista oclusal do modelo digital com três perfurações centrais.

Para a confecção dos *attachments* do grupo GER, os passos seguiram da seguinte forma: aplicação com *microbrush* (KG Brush Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil) na superfície vestibular do dente de 3 camadas sucessivas e intercaladas (a cada aplicação de primer era feita fotopolimerização, e assim as camadas foram sendo superpostas) *primer* Transbond™ XT (Light Cure Adhesive Primer 3M Unitek, Monrovia, Califórnia, USA), fotoativação de 5 segundos com o fotopolimerizador Emitter A Fit (Schuster, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil), com potência de luz de  $1250 \text{ mW/cm}^2$  (aferido pelo radiômetro Bluemeter, Ivoclar-Vivadent, Liechtenstein, Alemanha), em todos os dentes que receberam os *attachments*. Guias de transferência de 0.5 mm de copoliéster foram termoplastificados a partir dos modelos impressos conforme o quadro II (página 11).

As guias forneciam o formato e a localização dos acessórios sobre os dentes. O espaço referente à impressão negativa do *attachment* foi chamado de nicho, os quais foram preenchidos com resina fotopolimerizável Filtek Z100 (3M Unitek, Monrovia, Califórnia, EUA), pressionando firmemente contra a guia para

que não surgissem bolhas (Figura 8). Após o preenchimento do espaço, deixou-se ligeiro excesso para garantir adesão ao dente. As guias de transferências fora cortadas ao meio para facilitar o deslocamento da placa sem comprometer a confecção dos *attachments*.



**Figura 8** Elipse indicando região dos nichos com excesso de resina.

Com as guias preenchidas de resina, estas foram reposicionadas ao modelo, pressionando as margens de cada acessório como forma de delimitar os contornos envolvidos (Figura 9). Em cada dente incluído, foi feita uma fotopolimerização de 10 segundos. Após a remoção da guia do modelo, foi feita inspeção visual para aferir que as margens dos *attachments* ficaram bem demarcadas.



**Figura 9** Espátula pressionando todas as margens dos acessórios para que ficassem bem definidos.

Para que não houvesse alteração na altura dos cabos de aço que executaram o ensaio de tração, o recorte do alinhador foi padronizado. Tal característica foi obtida através de uma linha de orientação (Figura 10), em que todos os modelos tinham essa referência da linha, indicando a localização do recorte, garantindo uma padronização geral entre os plásticos.

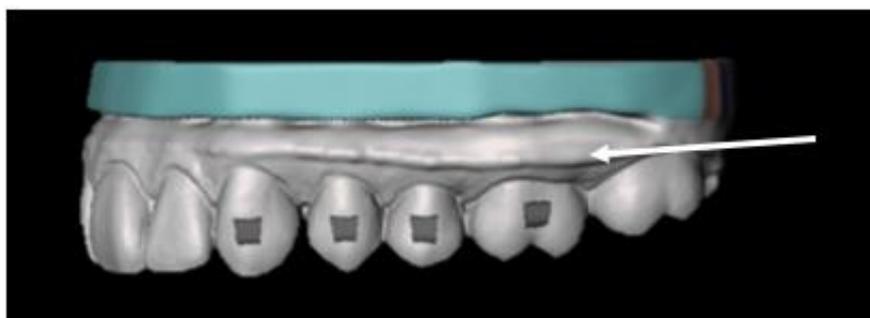


Figura 10 Linha de orientação para recorte do alinhador (seta)

### 3.3 COMPARAÇÃO DOS MODELOS

Para avaliar a fidelidade da posição e formato dos *attachments* colados nos modelos versus impressos, foi feita comparação digital entre eles.

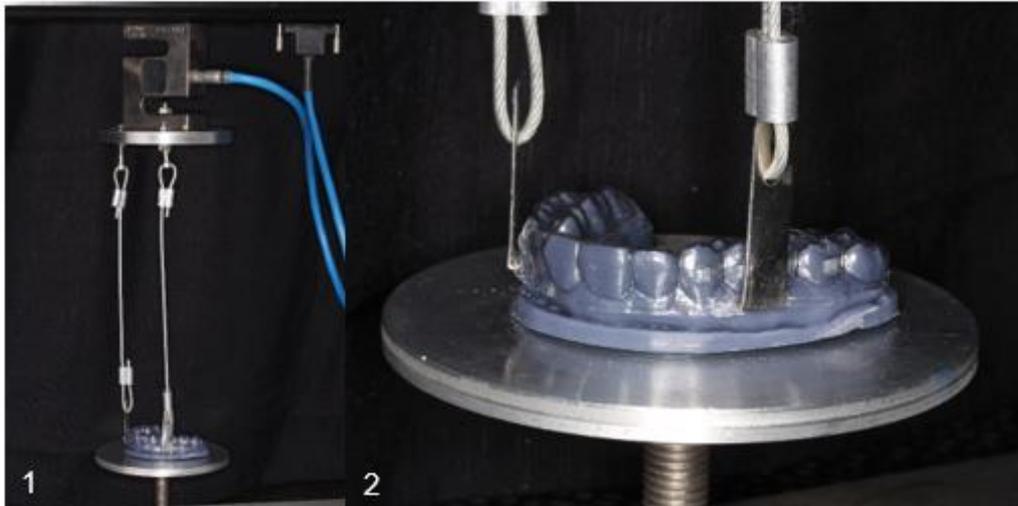
Os modelos com os *attachments* impressos (GCI) e os modelos com os *attachments* colados (GER), foram escaneados com o scanner intraoral CEREC OMNICAM (Sirona, York, Estados Unidos), de acordo com as recomendações do fabricante. Antes da digitalização, o pré-aquecimento da ponta do scanner foi realizado. A digitalização foi iniciada com o arco superior de acordo com a função do programa. Primeiro, as superfícies oclusais foram escaneadas e depois as superfícies vestibular e lingual. Ao escanear as superfícies oclusais, a cabeça do scanner foi mantida entre 0 e 5 mm dos dentes. Para escanear as superfícies lingual e vestibular, a ponta do scanner foi rolada de 45 a 90 graus para a lingual e

vestibular. A imagem pôde ser visualizada continuamente na tela durante o processo de escaneamento: isso permitiu feedback visual direto para garantir que nenhuma área fosse perdida. Por fim, foram gerados modelos 3D digitais em formato .STL, os quais puderam ser exportados para outros softwares para que fossem manipulados.

Uma análise comparativa qualitativa entre os modelos digitais, com *attachments* imprimidos e colados em resina foi realizada. Tal verificação foi feita antes dos testes de tracionamento, para que não houvesse alteração nos modelos.

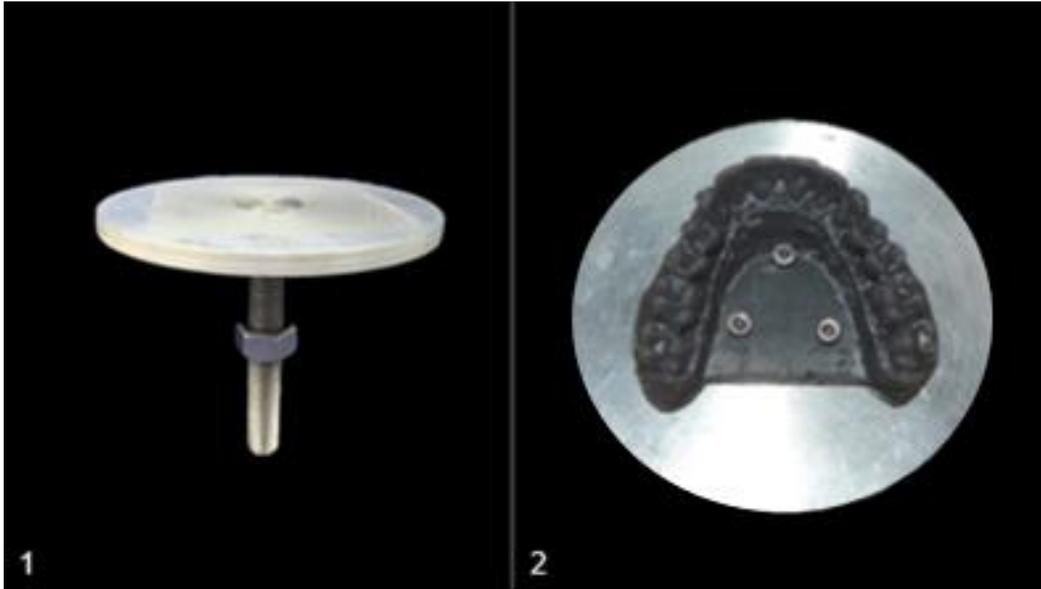
### **3.4 ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO**

Nesse estudo, foi realizado ensaio mecânico de tração. A simulação da remoção do alinhador pelo paciente foi reproduzida através de um dispositivo confeccionado em aço inoxidável com cabos de aço e com entrada para ser fixado na célula de carga. Os ganchos eram encaixados sob os alinhadores em duas regiões bilaterais do 1º pré-molar, em todos os casos (Figura 11, página 17). O ensaio de tração foi realizado na máquina universal EMIC no modelo DL-2000 (Instron, São José dos Pinhais, Paraná, Brasil) com capacidade máxima de 20kN no Laboratório Multidisciplinar de Pesquisa na Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. No outro extremo foi adaptada uma base de aço inoxidável, que permitia que as amostras pudessem ser fixadas à base da máquina (Figura 11, página 17).



**Figura 11** (1) Dispositivos acoplados à EMIC para realizar os ensaios: célula de carga conectado aos ganchos, encaixados no alinhador ligado à base. (2) Detalhe dos ganchos encaixados no alinhador.

A base (Figura 12, página 18) foi feita de aço inoxidável, sua circunferência possuía 100 mm de diâmetro e espessura de 5 mm. O parafuso da base inferior que adaptou na EMIC possui 85 mm comprimento e 10 mm de diâmetro. Três perfurações foram feitas no centro da circunferência da base, com distâncias equidistantes de 16 mm entre os furos para fixação dos modelos, evitando, assim, movimentos que pudessem prejudicar o ensaio mecânico.



**Figura 12** (1) Base desenvolvida para fixar o modelo à EMIC. Possui três perfurações centrais na placa de aço onde o modelo é aparafusado. (2) Modelo fixado na base.

Após a realização da montagem do protótipo, os ensaios mecânicos puderam ser realizados. Uma célula de carga de 500N foi acoplada à EMIC, para medir a força gerada pela tração. O software TESC versão 3.04 foi utilizado para conduzir os ensaios. Para tanto, foi feito para o estudo, um script específico, que definiu todo o procedimento de ensaio, desde os detalhes de aplicação de cargas até a análise dos resultados e emissão de relatório. No script, para o tracionamento das placas foi planejado um deslocamento de 2 mm/s. Ao mínimo deslocamento da placa, o sensor da EMIC paralisava o tracionamento e registrava a força obtida. Os testes foram realizados pelo mesmo operador TV.

Todos os testes realizados durante o delineamento da pesquisa foram realizados pelo mesmo operador.

### **3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

A análise estatística foi realizada no programa Statistical Package for the Social Science (SPSS versão 23.0, IBM, Chicago, Illinois, EUA). A detecção da normalidade das amostras foi por meio do teste de Shapiro-Wilk, que identificou distribuição normal. O Teste t e ANOVA com pós-teste de Tukey foram aplicados em GCI e GER e o nível de significância escolhido foi de  $p < 0.05$ .

## **4 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA**

### **4.1 ARTIGO**

VIEIRA, T.P.; VARGAS, E.O.A.; MARAÑÓN-VÁSQUEZ, G.A. ; BERND, G.P.; NOJIMA, L.I. **EVALUATION OF RESISTANCE AND DIMENSIONAL REPRODUCIBILITY OF ATTACHMENTS IN ORTHODONTICS ALIGNERS WITH DIFFERENT THICKNESS**. A ser submetido no periódico *The Angle Orthodontist*.

#### 4.1 ARTICLE

##### **Evaluation of resistance and dimensional reproducibility of attachments in orthodontics aligners with different thickness**

Thais Prates Vieira<sup>a</sup>, Eduardo Otero Amaral Vargas<sup>b</sup>, Guido Artemio Marañón-Vásquez<sup>b</sup>, Guilherme Picolli Bernd<sup>c</sup>, Lincoln Issamu Nojima<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Master's Degree Student, Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

<sup>b</sup>PhD student, Department of Pediatric dentistry and Orthodontics, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ - Brazil

<sup>c</sup>Master Degree, Department of Orthodontics, Pontífice Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS - Brazil

<sup>d</sup>Associate Professor, Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics Dentistry, Federal University of Rio de Janeiro Dental School, Rio de Janeiro, Brazil.

Corresponding Author: Lincoln Issamu Nojima

Department of Orthodontics - Dental School, Federal University of Rio de Janeiro – UFRJ

Av. Professor Rodolpho Paulo Rocco, 325 – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ

CEP 21941-590

Tel: (55 21) 2590-2727 Fax: (55 21) 2590-2771

Email: linojima@gmail.com

## **ABSTRACT**

**Objectives:** this study aimed to evaluate the retention capacity that attachments provide to orthodontic aligners, as well as to analyze the reproducibility of attachments made from guides made for this purpose.

**Material and Methods:** the sample consisted on sixteen models which were divided into 2 groups, eight in the printed control group (PCG), whose attachments were printed onto the model and eight in the experimental resin group (ERG), whose attachments were bonded manually from transfer guide. Each group was subdivided into 4, according to the positioning and orientation of the attachments: horizontal premolar (HPM), horizontal molar (HM), vertical premolar (VPM) and vertical molar (VM). PETG acetate aligners were thermoformed for a total of 80 aligners, 40 for the PCG group and another 40 for the ERG group in thicknesses of 0.6 mm and 0.8 mm. The models of the PCG and ERG groups were scanned and analyzed by digital comparison to assess the morphology of the attachments. Then, the aligners were subjected to mechanical tensile testing.

**Results:** the qualitative analysis showed that the bases of the bonded attachments have excess resin, making it difficult to create sharp angles. When analyzing the

morphology of the ERG group, it was possible to verify they had the bases in larger dimensions than planned. The ERG group had better retentions than the PCG group. There is no statistical difference in the orientation of the accessory and in the number of teeth that the devices have when the attachments are grouped. However, a statistical difference occurs regarding the observed thickness of acetate whose 0.8 mm aligners provided greater retention. In this case, the horizontal attachments with bonding up to the molars have the highest statistically significant retention average ( $p < 0.01$ ) when compared to the other attachments in the experimental group.

**Conclusions:** it can be concluded that the 0.8 mm aligners provide superior retention than those of 0.6 mm thickness, and also that the combination of horizontal attachments with molar canine bonding provides greater retention when compared to vertical orientation and the number of teeth involved.

**Keywords:** attachments; invisible aligners; retention; tensile test, dimensional reproducibility

## INTRODUÇÃO

O movimento dentário através de uma sequência de fases planejadas por enceramentos em *set ups*, foi utilizado pela primeira vez por Kesling em 1945, que propôs a correção de pequenos apinhamentos, pelo uso de um aparelho plástico flexível, reposicionando os dentes na oclusão ideal (1). Contudo, o autor notou que um maior movimento dentário seria obtido com uma série de posicionadores gerados pelo movimento do dente no *set up*, progressivamente, assim que o tratamento avançasse. Confirmou ainda, que a tecnologia existente daquela época não permitia tal procedimento, mas que sua aplicação prática poderia ser desenvolvida no futuro (1, 2).

Em 1999, a Align Technology™ (Santa Clara, Califórnia) desenvolveu o sistema Invisalign®, no qual uma sequência de alinhadores transparentes, eram termoformados a partir de modelos gerados com movimentos dentários sucessivos e específicos pela manipulação virtual em tecnologia digital tridimensional, criando uma sequência personalizada para cada paciente (3-6). Essa companhia foi pioneira em utilizar o sistema *CAD/CAM*, sigla inglesa para expressar CAD

(*computer-aided design* [desenho assistido por computador]) e CAM *computer-aided manufacturing* ([manufatura assistida por computador]), eliminando as sucessivas moldagens entre as sessões. Foi possível então através de uma única impressão, mesmo com múltiplas demandas de movimentação ortodôntica, confeccionar a quantidade de alinhadores necessários para correção completa de todos os desvios que fossem identificados e planejados (3, 5-8).

A dinâmica do movimento ortodôntico com alinhadores ortodônticos, necessita de algum tipo de apoio para que haja previsibilidade no planejamento, assim como há no aparelho ortodôntico convencional com braquetes. Os *attachments* foram introduzidos para auxiliar em casos em que há necessidade de movimentos não previsíveis (12), permitindo o aumento de recursos mecânicos para o ortodontista. Esses acessórios são feitos de resina fotopolimerizável com carga, de diversos formatos (4, 12, 14), com cor compatível com a do dente do paciente e fixados à superfície dentária por um sistema adesivo (12, 13). O tamanho, a forma e o local de colagem dos *attachments* determinam o seu efeito desejado e, conseqüentemente, o êxito no movimento dentário (15). Desde que os *attachments* foram considerados ferramentas importantes nos alinhadores estéticos, otimizando, auxiliando e direcionando a força aplicada sobre os dentes, é de extrema importância que os mesmos mantenham sua integridade e formato (14, 16-18). Com o desenvolvimento dos *attachments*, foi possível evitar movimentos não previsíveis do alinhador.

A terceira lei de Newton diz que para cada ação há uma igual e oposta reação (19). Pensando nisso, ao realizar por exemplo movimento de intrusão de incisivos, é verdadeiro que os dentes opostos a esse movimento terão tendência a sofrer extrusão. Tal fenômeno acontecerá independentemente do tipo de aparelho

utilizado. Com alinhadores transparentes, enquanto este está intruindo os incisivos, a força de reação tende a deslocar o alinhador dos dentes posteriores, perdendo o contato com os dentes, levando à falha na intrusão dos dentes desejados (20). Por isso, é necessário pensar em uma alternativa de ancoragem para compensar ou até mesmo diminuir essa tendência, tornando os movimentos planejados eficientes (12). Para resolver essa questão, a proposta do estudo foi avaliar alternativas de orientação e posição do attachment e espessura da placa, que poderiam influenciar nesse processo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A montagem da amostra consistiu na confecção do modelo dentário prototipado e *attachments* adaptados à superfície vestibular de alguns dentes dos mesmos modelos. Como critério de inclusão para confecção do modelo, o protótipo foi idealizado seguindo os princípios de oclusão excelente. O modelo inferior foi excluído aleatoriamente. Sendo assim, foi selecionado um modelo ao acaso, que cumprisse tais critérios mencionados anteriormente, do arquivo da clínica de Ortodontia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sendo liberado o uso do acervo através do Termo de Consentimento da Utilização do banco de dados da disciplina de Ortodontia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Anexo 1). Para a obtenção dos modelos digitais, foi utilizado um Scanner Intrabucal (CS 3600 Carestream®, Atlanta, Georgia USA) para gerar arquivo no formato STL. A partir do arquivo gerado, os modelos digitais foram preparados pelo software Meshmixer™ (versão 3.5.474 Autodesk®, Inc., Delaware, USA). Após o

estabelecimento do modelo digital, foram selecionados as variáveis forma e localização dos *attachments*. O formato do acessório escolhido foi o retangular, que alternou nas direções vertical e horizontal e a localização quanto a extensão dos acessórios de canino até pré-molar ou molar. O tamanho desses acessórios de resina variou proporcionalmente ao tamanho do dente, e sua localização foi estabelecida no ponto central da superfície vestibular dos dentes envolvidos, tanto no sentido mésiovestibular quanto cérvico-oclusal. As variações dos *attachments* resultaram em 4 formatos de modelo, os quais foram divididos em grupamentos (Figura 1). Dois modelos apresentaram *attachments* retangulares verticais e dois *attachments* horizontais. Dentro desse grupamento, cada um teve um posicionamento específico, diferenciando-os em: posicionados de canino até 2º pré-molar e de canino até 1º molar. Tais alterações formaram os modelos com *attachments* verticais de canino até 2º pré-molar (VPM), *attachments* verticais de canino até 1º molar (VM), *attachments* horizontais de canino até 2º pré-molar (HPM) e *attachments* horizontais de canino até 1º molar (HM). Com a definição dos *attachments*, dois grupos foram criados: o primeiro foi um grupo controle impresso (GCI) e o segundo foi o grupo experimental em resina (GER). No GCI os *attachments* foram impressos como parte integrante do modelo, para que assim os acessórios planejados pudessem ser avaliados, pois a impressão tridimensional confere exatidão na impressão sobre o projeto planejado digitalmente. No GER, foram confeccionados *attachments* utilizando o compósito fotopolimerizável Filtek Z100 (3M Unitek, Monrovia, Califórnia, EUA), reproduzindo o protocolo clínico já conhecido para uso de alinhadores. Com os modelos planejados, pode se iniciar a impressão dos modelos. A impressão foi realizada através impressora Form 2 (Formlabs, Massachusetts, USA) com resina SLA para impressão tridimensional

ClickDental (Click Aligner, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil). A termoplastificação das placas de PETG foi realizada com uma plastificadora de pressão Biostar (Scheu Dental, Iserlohn, Alemanha) utilizando modelos no estilo GCI para que este servisse de impressão positiva do alinhador, respeitando cada grupamento. Foram utilizadas placas de PETG de 0.6 mm e 0.8 mm confeccionadas em copoliéster (PETG - Politereftalato de etileno glicol) ClickFlex 3.0 (Click Aligner, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brasil). Foram confeccionados 5 alinhadores para cada grupamento, resultando em 40 alinhadores utilizados em GCI e mais 40 em GER. Para garantir que o modelo não fosse alterado por uso excessivo, 1 modelo, seguindo as características determinadas pelo grupamento que estava presente, foi destinado para o uso a cada 5 alinhadores. O preparo digital dos modelos seguiu o seguinte padrão: foi incorporado uma base niveladora ao modelo, que deixava a distância da base até as pontas de cúspides dos pré-molares na mesma altura, tanto do lado direito quanto do lado esquerdo. No processo alveolar, na porção vestibular, foi criado digitalmente uma reentrância em todo o perímetro da arcada, gerando um espaço suficiente para que o encaixe do ganchos acoplassem no alinhador. Para a confecção dos *attachments* do GER, os passos foram da seguinte forma: foi aplicado com *microbrush* (KG Brush Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil) na superfície vestibular do dente 3 camadas sucessivas e intercaladas *primer* Transbond™ XT (Light Cure Adhesive Primer 3M Unitek, Monrovia, Califórnia, USA), realizada fotoativação de 5 segundos com o fotopolimerizador Emitter A Fit (Schuster, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil) em todos os dentes que receberam os *attachments*. Guias de transferência de 0.5 mm de copoliéster foram termoplastificados a partir dos modelos. As guias forneciam o formato e a

localização dos acessórios sobre os dentes. O espaço referente à impressão negativa do attachment foi chamado de nicho, na qual eram preenchidas com resina fotopolimerizável Filtek Z100 (3M Unitek, Monrovia, Califórnia, EUA). Com as guias preenchidas de resina, estas foram reposicionadas ao modelo, pressionando as margens de cada acessório como forma de bem delimitar os contornos envolvidos. Em cada dente incluído, foi feita uma fotopolimerização de 10 segundos. Após a remoção da guia do modelo, foi feita uma inspeção visual para aferir que as margens dos *attachments* ficaram bem demarcadas.

Os modelos com os *attachments* impressos (GCI) e os modelos com os *attachments* que foram colados pelo operador (GER), foram escaneados com o scanner intraoral CEREC OMNICAM (Sirona, York, Estados Unidos). Foram gerados modelos 3D digitais em formato .STL. Uma análise comparativa qualitativa entre os modelos digitais, com *attachments* imprimidos e colados em resina foi realizada. Tal verificação foi feita antes dos testes de tracionamento, para que não houvesse alteração nos modelos. A ferramenta *analysis measure* do software Meshmixer™ (versão 3.5.474 Autodesk®, Inc., Delaware, USA), em que mediu-se a face distal de cada acessório, comparou o tamanho deles entre o três tipos de modelo em cada combinação VM, VPM, HM e HPM.

Para que não houvesse alteração na altura dos cabos de aço que executaram o ensaio de tração, o recorte do alinhador foi padronizado. Tal característica foi alcançada através de uma linha de orientação (Figura 2), indicando a localização do recorte, garantindo uma padronização geral entre os plásticos. Para simular a remoção do alinhador, um dispositivo confeccionado em aço inoxidável com cabos de aço e com entrada para ser fixado na célula de carga foi criado. Os ganchos eram encaixados sob os alinhadores em duas regiões

bilaterais na região do 1º pré-molar, em todos os casos (Figura 3). O ensaio de tração foi realizado na máquina universal EMIC no modelo DL-2000 (Instron, São José dos Pinhais, Paraná, Brasil) no Laboratório Multidisciplinar de Pesquisa na Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. No outro extremo foi adaptado uma base de aço inoxidável, que permitia que as amostras pudessem ser fixadas à base da máquina (Figura 4). Após a realização da montagem do protótipo, os ensaios mecânicos puderam ser realizados. Uma célula de carga de 500N foi acoplada à EMIC, para medir a força gerada pela tração. O software TESC versão 3.04 foi utilizado para conduzir os ensaios. Para tanto, foi feito para o estudo, um script específico, que definiu um deslocamento de 2 mm/s. Ao mínimo deslocamento da placa, o sensor da EMIC paralisava o tracionamento e registrava a força obtida. Para avaliar a fidelidade da posição e formato dos *attachments* colados nos modelos versus impressos, foi feita a sobreposição digital entre eles.

### **ANÁLISE ESTATÍSTICA**

A análise estatística foi realizada no programa Statistical Package for the Social Science (SPSS versão 23.0, IBM, Chicago, Illinois, EUA). A detecção da normalidade das amostras foi por meio do teste de Shapiro-Wilk, que identificou distribuição normal. O Teste t e ANOVA com pós-teste de Tukey foram aplicados em GCI e GER e o nível de significância escolhido foi de  $p < 0.05$ .

### **RESULTADOS**

Em GER, mediante às dimensões estabelecidas do *attachments* (Figura 5), foi possível verificar que os *attachments* colados tiveram suas morfologias em dimensões alteradas que o planejado (Figura 6 e 7). Tal fato não interferiu no grau de retenção dos alinhadores, já que os valores de resistência foram maiores e estatisticamente significativa em todas as variáveis do GER em relação ao GCI (Gráfico 1).

Na comparação das variáveis do GCI e GER, foi possível verificar diferença estatisticamente significativa quando houve variação na espessura dos alinhadores de 0,8 e 0,6 mm com nível de significância de  $p < 0,05$  (Tabela I). Nas variáveis de orientação dos *attachments* vertical e horizontal, bem como dentes que apresentavam os *attachments* não ocorreram diferenças significativas, quando comparadas à espessura (Tabela I).

Na comparação da resistência ao tracionamento nas espessuras de 0.6 e 0.8 milímetros, resultados interessantes podem ser vistos na Tabela II. Na combinação da espessura do plástico de 0.6 mm em GCI com orientação horizontal e localização de *attachments* nos dentes de canino a molar, apresenta um valor médio de 13.5 N, indicando uma menor resistência a tração. Na comparação das variáveis do GER na espessura 0.6, houve uma mudança no grupo com menor média: a combinação VPM teve média de 28.1 N. Analisando a espessura de 0.8 mm, em GCI não houve diferença estatística entre as combinações de *attachment*. Porém em GER, o grupo HM apresentou maior média de resistência à tração, com valor de 74.7 N. Assim, pode-se perceber que houve influência positiva na retenção ao variar a espessura da placa (tabela II).

## DISCUSSÃO

A dinâmica do movimento ortodôntico, através do aparelho ortodôntico convencional com braquetes, é diferente de quando se utilizam alinhadores ortodônticos. Alguns tipos de limitações biomecânicas evidentes foram observadas em estudos como de Ercoli, quando comparam-se dois tipos de alinhadores e observou-se que o movimento de torque era de difícil realização, se comparado à forma tradicional com braquetes (9). Joffe relatou limitações para alguns movimentos específicos, indicando os alinhadores para casos de pequena dificuldade (10). Djeu comparou casos tratados com Invisalign® e bráquetes metálicos convencionais pelo sistema de pontuação estabelecido pelo *Board* Americano de Ortodontia, e notou-se que os alinhadores tiveram performance inferior quanto à correção dos contatos oclusais, torque nos dentes posteriores e discrepâncias ântero-posteriores (Djeu et al., 2005). Hahn observou uma otimização da força oclusal com o uso de alinhadores, condicionando maior movimento de intrusão e rotação de dentes (11).

A terceira lei de Newton diz que para cada ação há uma igual e oposta reação (19). Pensando nisso, ao realizar um movimento de intrusão de incisivos, é verdadeiro que os dentes opostos a esse movimento terão tendência a sofrer extrusão. Tal fenômeno acontecerá independentemente do tipo de aparelho utilizado. Com alinhadores transparentes, enquanto este está intruindo os incisivos, a força de reação tende a remover a porção dos dentes posteriores, levando à falha na intrusão dos dentes desejados (20). Por isso, é necessário pensar em uma alternativa de ancoragem para compensar ou até mesmo diminuir essa tendência, tornando os movimentos planejados eficientes (12). Para resolver essa questão, a

proposta do estudo foi avaliar alternativas de orientação e posição do *attachment* e espessura da placa, que poderiam influenciar nesse processo.

Tanto em GCI quanto GER não há diferença estatística na orientação vertical e horizontal e nem quando os acessórios se estendem de canino a 2º pré-molar ou de canino a 1º molar. No entanto, há diferença estatística quanto à espessura do plástico do alinhador em ambos grupos controle e experimental (Tabela I). GCI teve a espessura de 0.6 mm com as distribuições HPM, VPM e VM com significância estatística. GER teve bons resultados de retenção tanto na espessura de 0.6 mm quanto na 0.8 mm. Todas as combinações, exceto VPM em espessura de 0.6 mm, podem ser usadas para adicionar retenção na mecânica ortodôntica (Tabela II).

Ao analisar a Tabela II é possível perceber que houve aumento na retenção quando aumentou-se a espessura do alinhador de 0.6 mm para 0.8 mm, indicando que o aumento da espessura do plástico para 0.8 mm, leva a uma maior retenção. Este fato é corroborado pelos achados de Dasy e colaboradores, que notaram um aumento progressivo na retenção ao tracionar alinhadores de 0.5 mm, 0.625 mm e 0.75 mm de espessura, respectivamente (14). Outro aspecto interessante é a presença de *attachment* no molar e na horizontal mostra a maior valor do tracionamento 74.7 N com diferença significativa ( $<0.01$ ) em relação às outras composições no grupo experimental, indicando esta configuração como a ideal para utilizar em movimentos de intrusão de incisivos.

Para movimentos de intrusão, os *attachments* retangulares convencionais surgiram como alternativa positiva, adicionando retenção nos dentes adjacentes ao dente a ser intruído (21). No presente estudo, comparamos apenas os *attachments* no formato retangular corroborando com estudos prévios. Em 2015, Dasy e colaboradores constataram que o uso de *attachment* retangular aumenta

significativamente a retenção (14). Faltin e colaboradores, em 2002 utilizaram *attachments* retangulares na região de pré-molar superior, e conseguiram obter sucesso ao intruir incisivo superior (3). Entretanto, a presente pesquisa agregou situações clínicas importantes ao variar o *attachment* retangular em função do número de dentes envolvidos e sua orientação.

Glaster publicou que, para intrusão, o melhor tipo de acessório seria o retangular otimizado.(20). Um *attachment* otimizado é aquele que é inserido automaticamente pelo software de planejamento virtual e não pode ser solicitado. Os *attachments* convencionais podem ser usados para casos mais complexos, em que se deseja uma retentividade maior. Em 2001, Boyd reportou que a correção da sobremordida exagerada era altamente previsível com alinhadores e *attachments*, afirmação essa confirmada por Weir em 2017. (15, 22). O estudo de Kravitz e colaboradores teve a taxa de intrusão de 41,3% (5). Isso pode ser explicado pela ausência de *attachments* retangulares convencionais, que poderiam ter sido agregados contribuindo para o movimento (23), conforme confirmado pelo presente estudo. Contudo, Rossini realizou uma revisão sistemática na qual verificou-se que o máximo de intrusão obtida foi uma média de 46%, e considerou que tal resultado se equivaleria ao uso de aparelho fixo (17).

Após todos os tracionamentos no grupo GER, mesmo com a força de tração chegando a uma média máxima de 74,7N (Tabela II), todos os *attachments* permaneceram íntegros, sem qualquer deslocamento ou fratura. Todos os movimentos tiveram uma tendência ao deslocamento do alinhador, os grupos com *attachment* horizontal até molar com espessura de PETG de 0.8 mm suportariam a tensão vertical existente, favorecendo a mecânica existente em outros dentes.

## CONCLUSÃO

O presente estudo concluiu que a presença de *attachments* forneceu retenção aos alinhadores, favorecendo a estabilização da placa. Os alinhadores do grupo experimental resina com *attachments* colados possuem maior taxa de retenção quando comparados ao grupo controle impresso. Não há diferença estatística na orientação do acessório e no número de dentes que possuem os dispositivos quando os *attachment* estão agrupados. Entretanto, relevante diferença estatística quanto à espessura de PETG foi observada, em que as placas de 0.8 mm forneceram maior retenção. Neste caso, os *attachments* horizontais e com colagem até os molares apresentam a maior média de retenção estatisticamente significativa ( $p < 0.01$ ) quando comparados aos outros *attachments* no grupo experiemntal. Ao analisar a morfologia do grupo GER foi possível verificar que os *attachments* colados tiveram suas bases em dimensões maiores que o planejado. Como era esperado uma menor taxa de retenção com a alteração dos *attachments*, tal fato não interferiu no grau de retenção dos alinhadores, já que os valores de resistência foram maiores em GER do que em GCI.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte acadêmico e desenvolvimento profissional e pelo apoio financeiro.

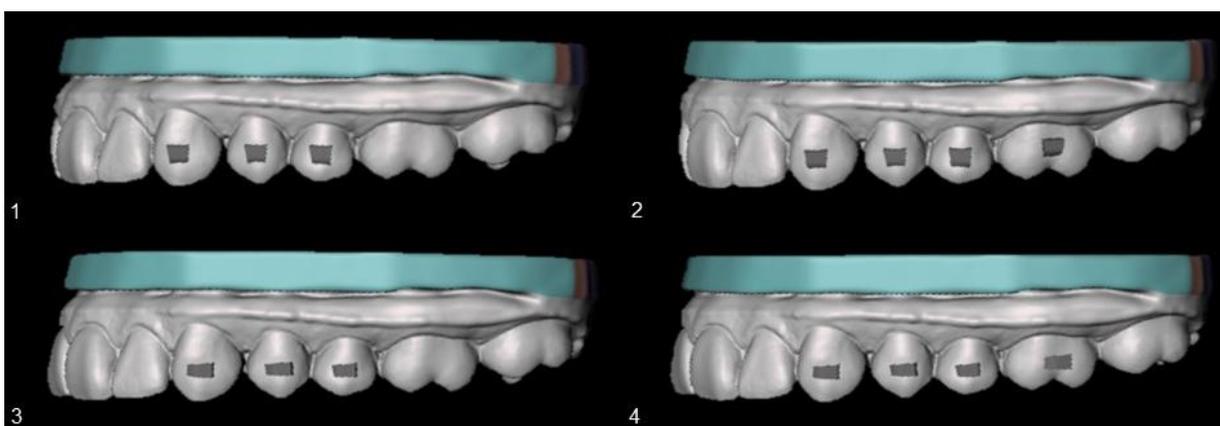
## REFERÊNCIAS

1. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. . 1945;31(6):297-304.
2. KESLING HD. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment. Am J Orthod Oral Surg. 1946;32:285-93.
3. Faltin RM, Almeida MAA, Kessner CA, Júnior KF. Eficiência, planejamento e previsão tridimensional de tratamento ortodôntico com sistema Invisalign - relato de caso clínico. R Clín Ortodon Dental Press 2002.
4. Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. J Orthod. 2016:1-9.
5. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;135(1):27-35.
6. Kuo E, Miller RJ. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003;123(5):578-81.
7. Hajeer MY, Millett DT, Ayoub AF, Siebert JP. Applications of 3D imaging in orthodontics: part II. J Orthod. 2004;31(2):154-62.
8. Wong BH. Invisalign A to Z. . American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics2002. p. 540-1.
9. Ercoli F, Tepedino M, Parziale V, Luzi C. A comparative study of two different clear aligner systems. Prog Orthod. 2014;15(1):31.
10. Joffe L. Invisalign: early experiences. J Orthod. 2003;30(4):348-52.
11. Hahn W, Engelke B, Jung K, Dathe H, Kramer FJ, Rödig T, et al. The influence of occlusal forces on force delivery properties of aligners during rotation of an upper central incisor. Angle Orthod. 2011;81(6):1057-63.
12. Nojima LI, Copello FM, Luiz KG, Bernd GP, Mezomo MB. Biomecânica e Alinhadores. In: Napoleão, editor. Alinhadores Ortodônticos: Técnicas e Inovações2019. p. 2-14.

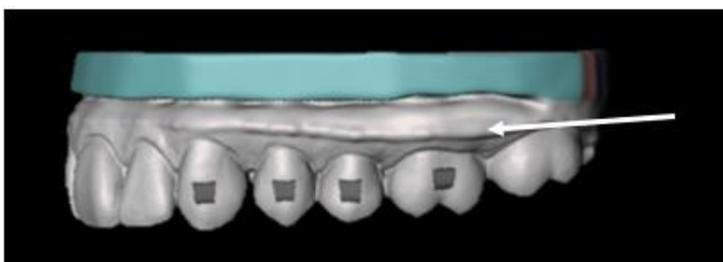
13. Barreda GJ, Dzierewianko EA, Muñoz KA, Piccoli GI. Surface wear of resin composites used for Invisalign® attachments. *Acta Odontol Latinoam.* 2017;30(2):90-5.
14. Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rózsa N, Lee HF, Kwak JH. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *Angle Orthod.* 2015;85(6):934-40.
15. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* 2017;62 Suppl 1:58-62.
16. Kravitz ND, Kusnoto B, Agran B, Viana G. Influence of attachments and interproximal reduction on the accuracy of canine rotation with Invisalign. A prospective clinical study. *Angle Orthod.* 2008;78(4):682-7.
17. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* 2015;85(5):881-9.
18. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique--regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health.* 2014;14:68.
19. Nicolau, Toledo. *Física Básica - Volume Único: Atual;* 2004.
20. Glaster BJ. *The insider's guide to Invisalign® Treatment.* 1º Edition ed: 3 L Publishing; 2017. 245 p.
21. Vale LSVD. *Alinhadores invisíveis: uma alternativa ortodôntica estética.* Repositório Comum: Instituto Universitário Egas Moniz; 2018.
22. Boyd RLW, V. Three-Dimensional Diagnosis and Orthodontic Treatment of Complex Malocclusions With the Invisalign Appliance. *Seminars in Orthodontics.* 2001;7(4):274-93.
23. Cai Y, He B, Yang X, Yao J. Optimization of configuration of attachment in tooth translation with transparent tooth correction by appropriate moment-to-force ratios: Biomechanical analysis. *Biomed Mater Eng.* 2015;26 Suppl 1:S507-17.

## FIGURAS

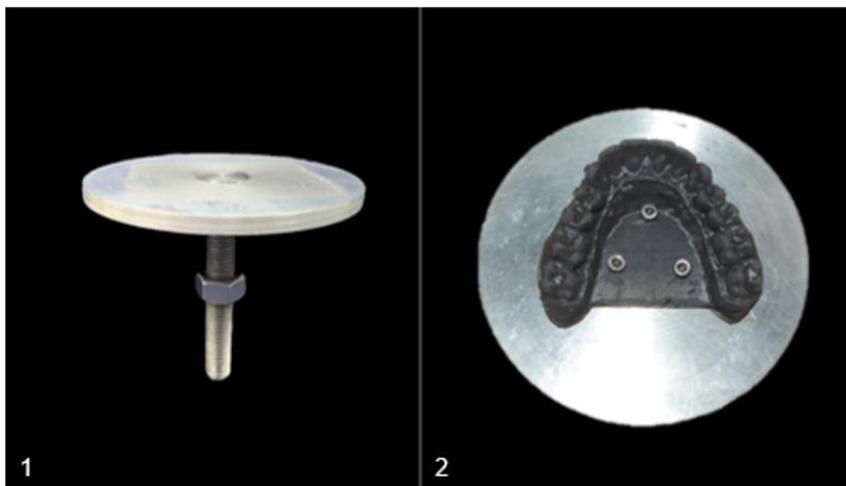
**Figura 1** Variações dos *attachments*: 1 vertical até 2º pré-molar (VPM), 2 vertical até 1º molar (VM), 3 horizontal até 2º pré-molar (HPM) e 4 horizontal até 1º molar (HM)



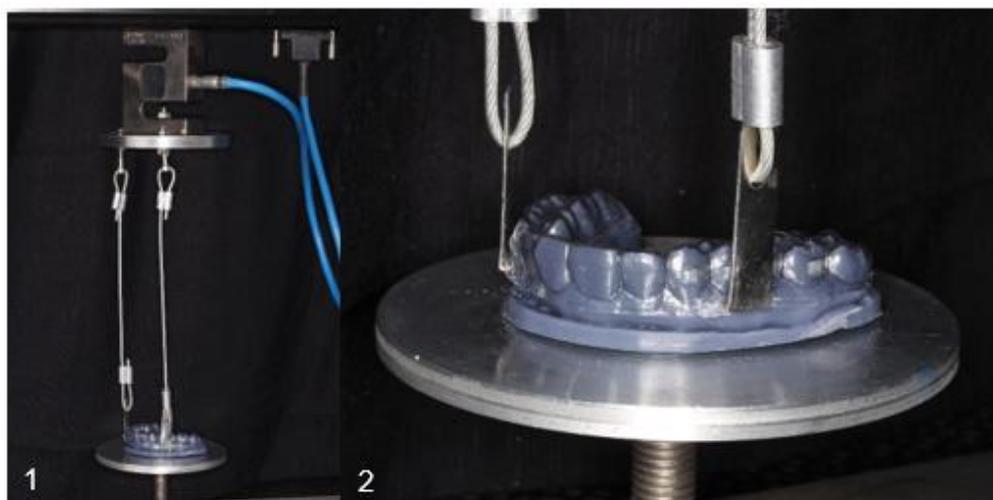
**Figura 2** Linha de orientação para recorte do alinhador (seta)



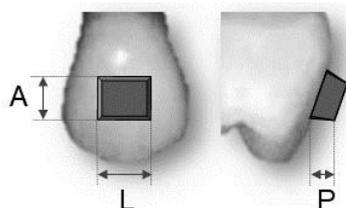
**Figura 3** (1) Dispositivos acoplados no maquinário para realizar os ensaios: célula de carga conectada aos ganchos, encaixados no alinhador ligado à base. (2) Detalhe dos ganchos encaixados no plástico.



**Figura 4** (1) Base desenvolvida para fixar o modelo à EMIC. Possui três perfurações centrais na placa de aço onde o modelo é aparafusado. (2) Modelo fixado na base.



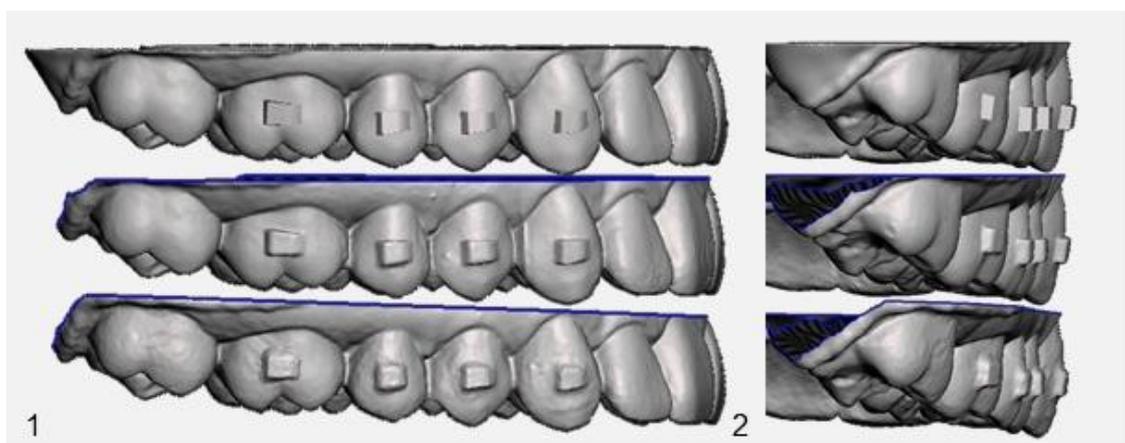
**Figura 5** Dimensões dos *attachments*



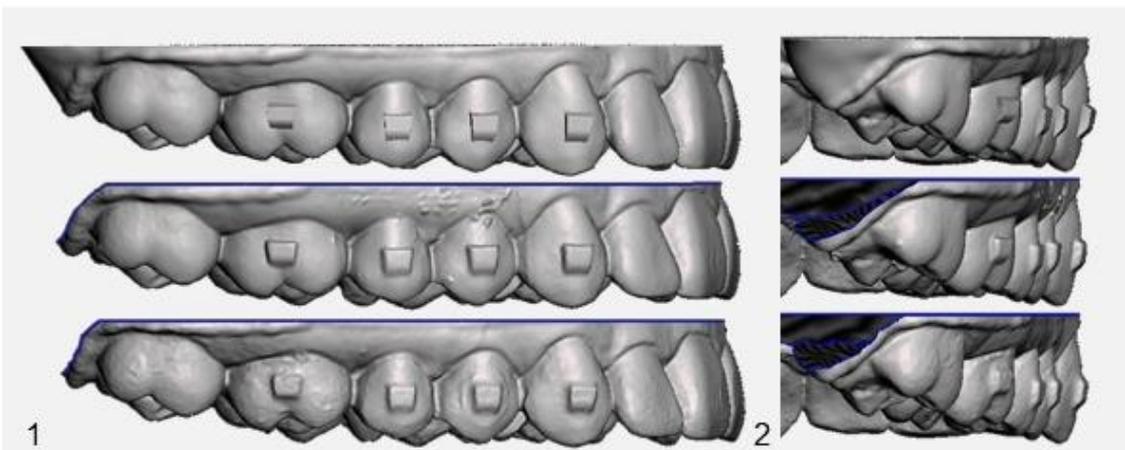
Dimensões:  
 Altura (A): 3 mm  
 Largura (L): 2 mm  
 Proeminência (P): 1,5 mm

*Attachments* foram colocados na orientação vertical ou horizontal

**Figura 6** De cima para baixo: comparação entre modelos escaneados com *attachments* na horizontal até molar: STL original, GCI e GER . 1 vista lateral; 2 vista posterior.

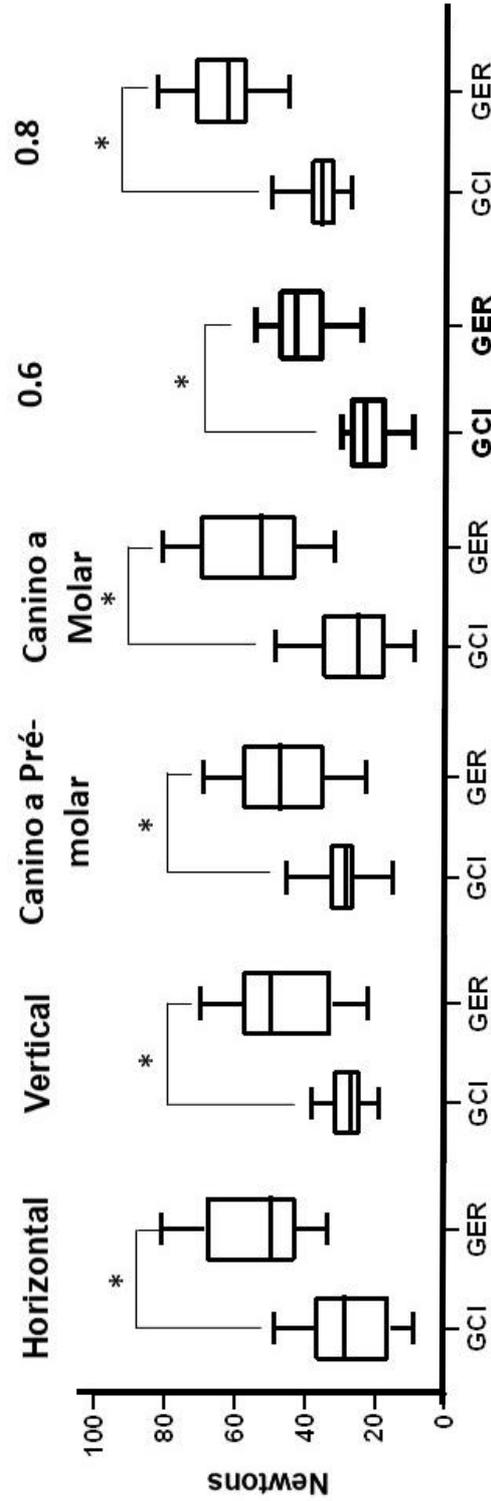


**Figura 7** De cima para baixo: comparação entre modelos escaneados com *attachments* na vertical até molar: STL original, GCI e GER . 1 vista lateral; 2 vista posterior.



**Gráfico 1** Representação em box plot comparando as variáveis entre o grupo com *attachments* impressos versus colados.

**Comparação da resistência ao tracionamento entre as variáveis em GCI e GER**



\* Indica diferença estatística significativa (Teste t;  $p < 0.05$ )

## TABELAS

Tabela I Comparação da resistência ao tracionamento entre as variáveis em GCI e GER

Variáveis	Resistência à tração (N) Média (Desvio Padrão)					
	Grupo Controle Impresso (GCI)			Grupo Experimental Resina (GER)		
	n = 20	n = 20		n = 20	n = 20	
<b>Orientação do Attachment</b>	Horizontal	Vertical	P valor	Horizontal	Vertical	P valor
	27.5 (12)	28.0 (5.7)	0.89	53.6 (14.5)	47.5 (15.6)	0.21
<b>Dentes com attachment</b>	Canino a Pré-molar	Canino a Molar		Canino a Pré-molar	Canino a Molar	
	29.0 (7.5)	26.4 (10.8)	0.38	45.6 (13.7)	55.5 (15.2)	0.05
<b>Espessura do alinhador</b>	0.6	0.8		0.6	0.8	
	20.4 (5.7)	35.1 (5.5)	<0.01*	38.3 (8.0)	62.8 (9.5)	<0.01*

\* Indica diferença estatística significativa (Teste t;  $p < 0.05$ )

Tabela II Comparação da resistência ao tracionamento em diferentes espessuras de alinhadores

Espessura	Grupo Controle Impresso					Grupo Experimental Resina				
	HPM	HM	VPM	VM	p valor	HPM	HM	VPM	VM	p valor
	Média (Desvio Padrão)					Média (Desvio Padrão)				
<b>0.6</b>	20.9 <sup>a</sup> (5.7)	13.5 <sup>b</sup> (3.5)	26.2 <sup>a</sup> (1.0)	21.0 <sup>a</sup> (2.0)	<0.01*	40.5 <sup>a</sup> (6.2)	44.7 <sup>a</sup> (3.8)	28.1 <sup>b</sup> (5.1)	39.7 <sup>a</sup> (5.8)	<0.01*
<b>0.8</b>	36.9 <sup>a</sup> (5.8)	38.8 <sup>a</sup> (5.9)	32.2 <sup>a</sup> (3.8)	32.4 <sup>a</sup> (4.7)	0.14	54.5 <sup>a</sup> (7.2)	74.7 <sup>b</sup> (4.2)	59.4 <sup>a</sup> (5.5)	62.8 <sup>a</sup> (7.2)	<0.01*
<b>p valor</b>	<0.01*	<0.01*	<0.01*	<0.01*		0.01*	<0.01*	<0.01*	<0.01*	

<sup>a</sup> com diferença estatística significativa no pós-teste de Tukey

<sup>b</sup> witsem diferença estatística significativa no pós-teste de Tukey

\* Indica diferença estatística significativa (ANOVA, e pós-teste de Tukey;  $p < 0.05$ )

HPM= horizontal pré-molar; HM = horizontal molar; VPM= vertical pré-molar; VM= vertical molar

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo concluiu que:

6.1 a análise qualitativa observou alteração na morfologia dos *attachments* em GER em comparação aos GCI e aos modelos originais em STL.

6.2 a presença de *attachments* forneceu retenção aos alinhadores, favorecendo a estabilização da placa.

6.2.1 os *attachments* colados do grupo GER apresentaram maior retenção que os grupos GCI;

6.2.2 os alinhadores com espessuras de 0,8 mm mostraram maior retenção quando comparados aos de 0,6 mm com diferenças estatisticamente significativas, e;

6.2.3 nos grupos experimentais GER de 0,6 mm mostraram menores resistências ao tracionamento quando foram utilizados *attachments* na vertical de canino aos pré-molares e maiores forças de tracionamento quando alinhadores de espessura de 0,8 mm foram empregados com *attachments* na horizontal e colagem de canino aos molares.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAWAL, K. et al. Evolution of Pre-Adjusted Edgewise Appliance in Orthodontics. **MIDSR Journal of Dental Research**, v. 1, n. 1, p. 6-12, 2018. Available at: < [http://journal.mitmidrsr.edu.in/01\\_downloads/pdf-12.pdf](http://journal.mitmidrsr.edu.in/01_downloads/pdf-12.pdf) >.

AZARIPOUR, A. et al. Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. **BMC Oral Health**, v. 15, p. 69, Jun 2015. ISSN 1472-6831. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26104387> >.

BARREDA, G. J. et al. Surface wear of resin composites used for Invisalign® attachments. **Acta Odontol Latinoam**, v. 30, n. 2, p. 90-95, Aug 2017. ISSN 1852-4834. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29248944> >.

BOYD, R. L. W., V. Three-Dimensional Diagnosis and Orthodontic Treatment of Complex Malocclusions With the Invisalign Appliance. **Seminars in Orthodontics**, v. 7, n. 4, p. 274-293, 2001.

CAI, Y. et al. Optimization of configuration of attachment in tooth translation with transparent tooth correction by appropriate moment-to-force ratios: Biomechanical analysis. **Biomed Mater Eng**, v. 26 Suppl 1, p. S507-17, 2015. ISSN 1878-3619. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26406042> >.

DASY, H. et al. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. **Angle Orthod**, v. 85, n. 6, p. 934-40, Nov 2015. ISSN 1945-7103. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26516708> >.

DJEU, G.; SHELTON, C.; MAGANZINI, A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 128, n. 3, p. 292-8; discussion 298, Sep 2005. ISSN 0889-5406. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16168325> >.

ERCOLI, F. et al. A comparative study of two different clear aligner systems. **Prog Orthod**, v. 15, n. 1, p. 31, May 2014. ISSN 2196-1042. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24934094> >.

FALTIN, R. M. et al. **Eficiência, planejamento e previsão tridimensional de tratamento ortodôntico com sistema Invisalign - relato de caso clínico**. R Clín Ortodon Dental Press p.8-12. 2002

FLORES-MIR, C.; BRANDELLI, J.; PACHECO-PEREIRA, C. Patient satisfaction and quality of life status after 2 treatment modalities: Invisalign and conventional fixed appliances. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 154, n. 5, p. 639-644, Nov 2018. ISSN 1097-6752. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30384934> >.

GLASTER, B. J. **The insider's guide to Invisalign® Treatment**. 1<sup>o</sup> Edition. 3 L Publishing, 2017. 245 ISBN 9780996677677. Available at: < <https://alignerinsider.com/> >.

HAHN, W. et al. The influence of occlusal forces on force delivery properties of aligners during rotation of an upper central incisor. **Angle Orthod**, v. 81, n. 6, p. 1057-63, Nov 2011. ISSN 1945-7103. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21612314> >.

HAJEER, M. Y. et al. Applications of 3D imaging in orthodontics: part II. **J Orthod**, v. 31, n. 2, p. 154-62, Jun 2004. ISSN 1465-3125. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15210932> >.

HENNESSY, J.; AL-AWADHI, E. A. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. **J Orthod**, p. 1-9, Jan 2016. ISSN 1465-3133. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26743036> >.

HICHENS, L. et al. Cost-effectiveness and patient satisfaction: Hawley and vacuum-formed retainers. **Eur J Orthod**, v. 29, n. 4, p. 372-8, Aug 2007. ISSN 0141-5387. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17702797> >.

JOFFE, L. Invisalign: early experiences. **J Orthod**, v. 30, n. 4, p. 348-52, Dec 2003. ISSN 1465-3125. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14634176> >.

KESLING, H. D. The philosophy of the tooth positioning appliance. . v. 31, n. 6, p. 297-304, 1945. Available at: < [https://doi.org/10.1016/0096-6347\(45\)90101-3](https://doi.org/10.1016/0096-6347(45)90101-3) >.

KESLING, H.D. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment. **Am J Orthod Oral Surg**, v. 32, p. 285-93, May 1946. ISSN 0096-6347. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21027613> >.

KRAVITZ, N. D. et al. Influence of attachments and interproximal reduction on the accuracy of canine rotation with Invisalign. A prospective clinical study. **Angle Orthod**, v. 78, n. 4, p. 682-7, Jul 2008. ISSN 0003-3219. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18302468> >.

KRAVITZ, N. D et al. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 135, n. 1, p. 27-35, Jan 2009. ISSN 1097-6752. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19121497> >.

KUHLMAN, D. C. et al. Esthetic perception of orthodontic appliances by Brazilian children and adolescents. **Dental Press J Orthod**, v. 21, n. 5, p. 58-66, 2016 Sep-Oct 2016. ISSN 2177-6709. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27901230> >.

KUO, E.; MILLER, R. J. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 123, n. 5, p. 578-81, May 2003. ISSN 0889-5406. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12750680> >.

MILLER, K. B. et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 131, n. 3, p. 302.e1-9, Mar 2007. ISSN 1097-6752. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17346581> >.

NICOLAU; TOLEDO. **Física Básica - Volume Único**. Atual, 2004. ISBN 53570518X.

NOJIMA, L. I. et al. Biomecânica e Alinhadores. In: NAPOLEÃO (Ed.). **Alinhadores Ortodônticos: Técnicas e Inovações**, 2019. chap. Biomecânica e Alinhadores, p.2-14.

NOLD, S. L. et al. Analysis of select facial and dental esthetic parameters. **Int J Periodontics Restorative Dent**, v. 34, n. 5, p. 623-9, 2014 Sep-Oct 2014. ISSN 1945-3388. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25171032> >.

PITHON, M. M. et al. Do dental esthetics have any influence on finding a job? **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 146, n. 4, p. 423-9, Oct 2014. ISSN 1097-6752. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25263144> >.

POCOCK, S. J. **Clinical trials: a practical approach** John Wiley & Sons, 1983. ISBN 978-0-471-90155-6.

PONITZ, R. J. Invisible retainers. **Am J Orthod**, v. 59, n. 3, p. 266-72, Mar 1971. ISSN 0002-9416. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5276727> >.

ROSSINI, G. et al. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. **Angle Orthod**, v. 85, n. 5, p. 881-9, Sep 2015. ISSN 1945-7103. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25412265> >.

ROSVALL, M. D. et al. Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 135, n. 3, p. 276.e1-12; discussion 276-7, Mar 2009. ISSN 1097-6752. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19268820> >.

SARUL, M.; ANTOSZEWSKA-SMITH, J.; PARK, H. S. Self-perception of smile attractiveness as a reliable predictor of increased patient compliance with an orthodontist. **Adv Clin Exp Med**, v. 28, n. 12, p. 1633-1638, Dec 2019. ISSN 1899-5276. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31778599> >.

SHERIDAN, J. J.; LEDOUX, W.; MCMINN, R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. **J Clin Orthod**, v. 27, n. 1, p. 37-45, Jan 1993. ISSN 0022-3875. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8478438> >.

SIMON, M. et al. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique--regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. **BMC Oral Health**, v. 14, p. 68, Jun 2014. ISSN 1472-6831. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24923279> >.

VALE, L. S. V. D. **Alinhadores invisíveis: uma alternativa ortodôntica estética**. 2018. 84 (Mestre em Medicina Dentária). Medicina Dentária, Instituto Universitário Egas Moniz, Repositório Comum.

WEIR, T. Clear aligners in orthodontic treatment. **Aust Dent J**, v. 62 Suppl 1, p. 58-62, Mar 2017. ISSN 1834-7819. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28297094> >.

WONG, B. H. **Invisalign A to Z**. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**. 121: 540-541 p. 2002.

ZIUCHKOVSKI, J. P. et al. Assessment of perceived orthodontic appliance attractiveness. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 133, n. 4 Suppl, p. S68-78, Apr 2008. ISSN 1097-6752. Available at: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18407023> >.

## 8 ANEXOS

### 8.1 Anexo 1



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ODONTOPEDIATRIA E ORTODONTIA

#### UTILIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS DA DISCIPLINA DE ORTODONTIA

Eu, Mônica Tirre de Souza Araújo, coordenadora do Programa de Pós-graduação em Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, autorizo acesso ao arquivo da Clínica da Disciplina de Ortodontia da Faculdade de Odontologia da UFRJ, localizada na Av. Professor Rodolpho Paulo Rocco, 325 Ilha do Fundão – Rio de Janeiro-RJ-Brasil, para fins de pesquisa de Dissertação de Mestrado Intitulada: “*Avaliação da retenção e reprodutibilidade dimensional de attachments em alinhadores ortodônticos de diferentes espessuras*”.

Responsabilizo-me, juntamente com Lincoln Issamu Nojima, Professor Doutor da Faculdade de Odontologia da UFRJ e Thais Prates Vieira, aluna do Programa de Pós-Graduação em Odontologia - Ortodontia da UFRJ, a privacidade de seus conteúdos, como preconizam os Documentos Internacionais e a Res.196/96 do Ministério da Saúde e o Código Penal Brasileiro.

Rio de Janeiro, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

---

LINCOLN ISSAMU NOJIMA

Professor Associado de Ortodontia da FO/UFRJ  
Pesquisador Responsável

---

MÔNICA TIRRE DE SOUZA ARAÚJO

Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Ortodontia  
Faculdade de Odontologia - UFRJ