

RESSALVA

Atendendo solicitação do autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 26/02/2027.



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Raíssa Marielly Parente Bernardino

**Avaliação de diferentes *attachments* no tratamento da protrusão maxilar com
extração de primeiros pré-molares utilizando alinhadores transparentes:
simulação por análise de elementos finitos**

Araraquara

2025



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Raíssa Marielly Parente Bernardino

Avaliação de diferentes *attachments* no tratamento da protrusão maxilar com extração de primeiros pré-molares utilizando alinhadores transparentes: simulação por análise de elementos finitos

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara para obtenção do título de Doutora em Ciências Odontológicas, na Área de Ortodontia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Gonzaga Gandini Júnior

Araraquara

2025

B523a	<p data-bbox="446 1388 1260 1422">Bernardino, Raissa Marielly Parente</p> <p data-bbox="446 1422 1260 1590">Avaliação de diferentes attachments no tratamento da protrusão maxilar com extração de primeiros pré-molares utilizando alinhadores transparentes : simulação por análise de elementos finitos / Raissa Marielly Parente Bernardino. -- Araraquara, 2025</p> <p data-bbox="446 1590 1260 1624">49 f. : tabs., fotos</p> <p data-bbox="446 1668 1260 1736">Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia, Araraquara</p> <p data-bbox="446 1736 1260 1780">Orientador: Luiz Gonzaga Gandini Júnior</p> <p data-bbox="446 1825 1260 1904">1. Fechamento de espaço ortodôntico. 2. Aparelhos ortodônticos removíveis. 3. Análise de elementos finitos. I. Título.</p>
-------	--

Raíssa Marielly Parente Bernardino

Avaliação de diferentes *attachments* no tratamento da protrusão maxilar com extração de primeiros pré-molares utilizando alinhadores transparentes: simulação por análise de elementos finitos.

Comissão julgadora

Defesa para obtenção do grau de Doutora em Ortodontia

Presidente e orientador : Prof. Dr. Luiz Gonzaga Gandini Júnior

2º Examinador : Profa. Dra. Carolina Carmo de Menezes

3º Examinador : Prof. Dr. Roberto Hideo Shimizu

4º Examinador : Profa. Dra. Ana Cláudia Moreira Melo Toyofuku

5º Examinador : Prof. Dra. Ingrid Müller Ledra

Araraquara, 26 de fevereiro de 2025.

DADOS CURRICULARES

Raíssa Marielly Parente Bernardino

NASCIMENTO: 30 de outubro de 1993 – Esperantina – Piauí

FILIAÇÃO: Mariana Rodrigues Parente e Francisco Rogers Lima Bernardino

2011/2015 - Graduação em Odontologia – Faculdade Integral Diferencial -
Facid/Wyden

Trabalho de conclusão de curso: Efetividade dos dentífricos clareadores sobre
esmalte de dentes bovinos.

2018/2021 - Especialização em Ortodontia – Instituto Latosensu

Trabalho de Conclusão de curso: Qualidade de vida relacionada a saúde bucal de
pacientes tratados com aparelho ortodôntico fixo e alinhadores transparentes:
revisão de literatura

2017/2019 - Mestrado em Odontologia – Universidade Federal do Piauí

Dissertação: Impacto das Condições Bucais na Qualidade de Vida Relacionada à
Saúde Bucal da População em Situação de Rua

2021/2025 – Doutorado em Ortodontia – Faculdade de Odontologia de Araraquara
- UNESP

Dedico este trabalho à minha mãe, **Profª Mariana Rodrigues Parente**, que, com seu esforço e confiança, me proporcionou oportunidades, valores e coragem para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

A finalização do doutorado é apenas uma parte da história contada. Neste agradecimento, falo um pouco sobre as pessoas que me ajudaram a escrever um capítulo dessa história, da querida Araraquara, Morada do Sol. Como diz a música de Marcelo Jeneci: "Melhor viver, meu bem, pois há um lugar em que o Sol brilha para você, chorar, sorrir também e depois dançar, na chuva quando a chuva vem". Desta forma, tenho muito que agradecer.

A Deus, que falou ao meu coração que seria possível realizar mais um sonho. Aos meus olhos humanos, parecia algo distante da minha realidade, mas naqueles meses antes da prova de seleção, tive confiança e muita coragem, acreditei e segui em frente. Ele não me prometeu que tudo seria perfeito, e houve dias em que tive medo e enfrentei muitos desafios. Ainda assim, fui cuidada por Nossa Senhora e São José, e a providência divina se manifestou em minha vida, e nada me faltou, pois "Para Deus nada é impossível" (Lc 1,37). Muito obrigada, Senhor, por caminhar comigo e por colocar pessoas especiais durante este período.

À minha mãe e aos irmãos Raphael, Rogiel e Erik, por serem inspiração de boas pessoas e trabalhadoras e por dividirem comigo a simplicidade do amor em família.

Aos meus sobrinhos, Guilherme, Ruan, Carlos Henrique, Liz e Serena, por me esperarem sempre com tanta alegria, pelos momentos especiais que compartilhamos e por me fazerem sentir esse amor tão único e especial.

Aos meus familiares, que me apoiaram e torceram por mim em mais uma conquista. De forma especial ao meu pai avô Gerardo Gomes Parente (in memoriam) e minha avó Petinha, que ajudaram na minha criação. À Tia Toinha, Comadre Jéssica e minha afilhada Maria Eduarda, junto com minha mãe, que cuidaram dos meus avós. Muito obrigada!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Gonzaga Gandini Júnior, pela oportunidade de ser sua orientada, por acreditar em mim, pela confiança no meu esforço e por compartilhar tantos conhecimentos e experiências. Foi uma honra

trabalhar e crescer sob sua orientação. Saiba, professor, que sou grata pelo dom da sua vida, da **Profa. Márcia**, a quem tenho muito apreço, e pela dedicação de ambos em abrir portas para seus alunos.

Ao Grupo Straumann, pelo apoio, em nome de **Marco Laubacher**, e à ClearCorrect Brasil, em nome do **Prof. Dr. Roberto Hideo Shimizu**. E, com carinho, à **Profa. Dra. Waleska Furquim**, por sua paciência, orientações e assistência ao trabalho clínico.

À Profa. Josete Meire, ao Prof. Ivan Onone e à Nicole Cindy, que fazem parte do grupo Fino Fousp, pela parceria na construção do modelo de elementos finitos e troca de conhecimento. E, de forma especial, à Nicole, que, gentilmente, me acompanhou e me ensinou muito sobre elementos finitos.

Às minhas amigas Carolina, Bárbara, Ana Thaís, Renata, Alyssa pela amizade, apoio e acolhimento. Sou muito feliz por ter compartilhado essa jornada com vocês, não só pelos conhecimentos ortodônticos, mas por muitas histórias vividas ao lado de cada uma de vocês. Saibam que são especiais demais para mim. E Carol, minha "mermãzinha", você me acolheu como parte da sua família e eu sentia o cuidado do seu doce coração. Aos amigos da pós-graduação, **Adriana, Karina, Isabella, Pedro, Bia, Bonny e Airton**, pelos bons momentos de amizade, diversão e aprendizado. Boas lembranças com vocês. **Ao Fernando**, meu primeiro amigo de Araraquara, sou muito grata por todo apoio quando cheguei. Com sua boa vizinhança, tive companhia e conheci novos amigos, **Léo e Arthuro**. Coincidentemente, Arthuro faz parte da equipe JRG, a qual realiza com muito zelo os atendimentos cirúrgicos dos pacientes da pesquisa clínica. Muito obrigada!

À Basílica de São Bento, em nome do **Pe. Rodolfo Faria e Pe. Everton Luchesi**, que me acolheram na comunidade e onde pude viver e fortalecer minha fé. Ao movimento do Rosário Perpétuo, à **Dona Helenice e à Dra. Telma**, que me mostraram a generosidade de Nossa Senhora. Aos meus amigos catequistas **Jaqueline, Alex, Guilherme e Lara**, por vivenciarem comigo o amor de Deus para com os jovens, as boas aventuras nas quermesses e retiros. E, de forma especial, ao

Guilherme e à Lara, que tinham o cuidado familiar comigo, me apresentaram ao grupo chamado "Friends", ao qual fui bem recebida e pude viver bons momentos.

Ao Guilherme Goya, pelo companheirismo, carinho, leveza e paciência, que tornaram meus dias mais felizes.

Aos meus amigos do Piauí, Arielly, Mônica, Alex, Ediane, Lorena, Luara, Concita, Lenilda, e aos meus amigos da minha turma de graduação, por todo carinho e apoio, e a todos os colegas que, de alguma maneira, sentiram-se felizes com minha conquista.

Ao grupo BTS, ao qual sou fã, pelas mensagens de amor-próprio, perseverança e esperança transmitidas através de sua música. Em dias cansativos, me contagiavam com sua alegria, me fizeram muita companhia aos finais de semana e me proporcionaram boas amizades.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", nas pessoas de sua Magnífica Reitora Dra. Maysa Furlan e do Excelentíssimo Senhor Vice-Reitor Cesar Martins.

À Faculdade de Odontologia de Araraquara, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FOAr-UNESP), em nome da Diretora Profa. Dra. Patrícia Petronili Nordi Sasso Garcia e da Vice-Diretora Profa. Dra. Elaine Pereira da Silva Tagliaferro, por todas as oportunidades das quais pude usufruir durante a pós-graduação, além do acompanhamento psicológico e programas de assistência social.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Odontológicas, representado pela Coordenadora Profa. Dra. Andreia Bufalino.

Ao Departamento de Clínica Infantil, em nome do seu Chefe de Departamento Prof. Dr. Fabio Abreu e Lima.

Aos docentes da área de Ortodontia da Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP, **Prof. Dr. Ary dos Santos Pinto, Prof. Dr. Dirceu Barnabé**

Raveli, Prof. Dr. João Roberto Gonçalves, Prof. Dr. Jonas Bianchi, Prof. Dra. Carolina Carmo de Menezes, Prof. Dr. Luiz Gonzaga Gandini Júnior, Prof. Dr. Helder Jacob, Prof. Dr. Lucas Campos, muito obrigada por me acolherem e pelos inúmeros ensinamentos, tenho muito respeito por vocês.

Aos demais colegas de pós-graduação, sejam do mestrado ou doutorado, pelo bom convívio e pela troca de aprendizado.

Aos queridos pacientes da pesquisa clínica que confiaram em nosso trabalho! Muito obrigada!

A Liga de Ortodontia e aos alunos de graduação pela oportunidade de aprimorar minhas habilidades de ensino e comunicação.

Aos funcionários do Departamento de Clínica Infantil da Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP, Totó, Diego, Pedrinho, Taís, Dulce, dona Neidinha e aos funcionários da Seção de Pós-Graduação Cristiano e José Alexandre, por todo auxílio durante a pós-graduação.

Ao GESTOS, onde pude frequentar e aprender muito com Prof. Dr. Ary dos Santos Pinto, me sinto lisonjeada a cada clínica. Ao Marcelo pelos bons conselhos, à Márcia, Simone, Dona Vilma, Érica e Pamela.

À CAPES: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá.
De alguma maneira você chega lá”.

Ayrton Senna*

Frase atribuída a Ayrton Senna e foi dita em uma entrevista ao jornalista João Dória Júnior em 1994.

Bernardino RMP. Avaliação de diferentes *attachments* no tratamento da protrusão maxilar com extração de primeiros pré-molares utilizando alinhadores transparentes: simulação por análise de elementos finitos [Tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2025.

RESUMO

A biprotrusão dentoalveolar maxilomandibular pode ser tratada com a extração dos quatro primeiros pré-molares, visando à retração dos dentes anteriores e, conseqüentemente, à melhoria da estética e do perfil facial. Este estudo teve como objetivo avaliar, por meio da simulação de elementos finitos, a retração em massa em uma protrusão maxilar com extração do primeiro pré-molar, analisando diferentes tipos de *attachments* e os efeitos mecânicos dos alinhadores no fechamento do espaço. Foi construído um modelo tridimensional de hemi-maxila com base na tomografia de um paciente biprotruso submetido à extração dos primeiros pré-molares, representando osso, ligamento periodontal e dentes. No programa CAD, foram desenhados *attachments* verticais, horizontais e quadrados. A simulação do fechamento de espaço foi realizada no software Marc Mentat, aplicando-se um deslocamento de 0,25 mm na superfície externa do alinhador. Os dados foram analisados por meio do deslocamento total nos eixos X, Y e Z e da pressão hidrostática no ligamento periodontal, utilizando a mean normal stress. Os resultados indicaram distalização do canino com inclinação lingual da coroa em direção ao local da extração, além da inclinação mesial da coroa do pré-molar em direção ao local da extração. Também foi observado que o tamanho e a forma dos *attachments* influenciam o controle do movimento dental durante o fechamento de espaço. Conclui-se que, durante o fechamento de espaço com alinhadores transparentes, ocorrem movimentos dentários de inclinação distal da coroa do canino para o espaço da extração, acompanhados de rotação e extrusão. Os *attachments* retangulares verticais e horizontais apresentaram resultados semelhantes, mas o retangular vertical demonstrou ser mais indicado para o controle da movimentação do canino e do pré-molar durante a retração.

Palavras - chave: Fechamento de espaço ortodôntico. Aparelhos ortodônticos removíveis. Análise de elementos finitos.

Bernardino RMP. Evaluation of different *attachments* in the treatment of maxillary protrusion with first premolar extraction using clear aligners: simulation through finite element analysis [Tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2025.

ABSTRACT

Maxillomandibular dentoalveolar biprotrusion can be treated with the extraction of the four first premolars, aiming at the retraction of the anterior teeth and, consequently, the improvement of facial aesthetics and profile. This study aimed to evaluate, through finite element simulation, en-masse retraction in a maxillary protrusion with first premolar extraction, analyzing different types of *attachments* and the mechanical effects of aligners on space closure. A three-dimensional hemimaxilla model was constructed based on the tomography of a biprotrusive patient who underwent first premolar extractions, representing bone, periodontal ligament, and teeth. In the CAD program, vertical, horizontal, and square *attachments* were designed. The space closure simulation was performed in the Marc Mentat software by applying a 0.25 mm displacement to the external surface of the aligner. The data were analyzed based on the total displacement in the X, Y, and Z axes and the hydrostatic pressure in the periodontal ligament using the mean normal stress. The results indicated canine distalization with lingual crown inclination toward the extraction site, as well as mesial crown inclination of the premolar toward the extraction site. It was also observed that the size and shape of the *attachments* influence the control of dental movement during space closure. It is concluded that, during space closure with clear aligners, dental movements of distal inclination of the canine crown toward the extraction space occur, accompanied by rotation and extrusion. The vertical and horizontal rectangular *attachments* showed similar results, but the vertical rectangular *attachment* appeared to be more suitable for controlling the movement of the canine and premolar during retraction.

Keywords: Orthodontic space closure. Orthodontic appliances, removable. Finite element analysis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 PROPOSIÇÃO	15
2.1 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1 Bipotrusão	16
3.2 Retração em Massa com Alinhadores	17
3.3 Simulação da Retração em Massa com Alinhadores com Elementos Finitos	21
4 MATERIAL E MÉTODO	25
4.1. Construção da Geometria.....	25
4.2 Propriedade dos Materiais.....	27
4.3 Condições de Contorno e Simulação da Retração em Massa .	28
4.4 Análise dos Dados	28
5 RESULTADOS.....	29
5.1 Attachment Retangular Horizontal no Canino	29
5.2 Attachment Quadrado no Canino	29
5.3 Attachment Retangular Vertical no Canino.....	30
5.4 Attachment Retangular Horizontal no Pré-molar	30
5.5 Attachment Quadrado no Pré-molar.....	30
5.6 Attachment Retangular Vertical no Pré-molar	30
5.7 Tensão Hidrostática no Ligamento Periodontal	34
6 DISCUSSÃO	35
7 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Os aparelhos fixos têm sido amplamente utilizados como a principal abordagem no tratamento ortodôntico. Contudo, devido às limitações estéticas, pacientes adultos apresentam baixa aceitação e insatisfação ao longo do tratamento¹. Com o avanço das tecnologias, os alinhadores transparentes ganharam destaque nos últimos anos, sendo indicados no tratamento das más oclusões². Além disso, pacientes que utilizam alinhadores frequentemente relatam maior satisfação com o tratamento³. Os alinhadores transparentes oferecem uma abordagem mais estética e discreta, permitindo também sua remoção durante as refeições, o que elimina restrições alimentares e evita preocupações com descolamentos de braquetes⁴.

Com aprimoramento das técnicas e conhecimento gradativo das propriedades biomecânicas dos materiais dos alinhadores, estes não se limitaram mais a resolver pequenos apinhamentos dentários, mas estendeu-se às más oclusões complexas⁵. Porém, ainda existe um debate sobre a previsibilidade do tratamento ortodôntico com alinhadores⁶⁻⁸, especialmente em relação aos movimentos ortodônticos tais como rotações, extrusão, movimentos de torque e fechamento de grandes espaços⁸⁻¹².

Neste contexto, sabe-se que para correção de algumas más oclusões na ortodontia, como apinhamento severo, agenesia unilateral, biprotrusão dentoalveolar maxilomandibular, perfis faciais convexos e grandes discrepâncias cefalométricas, a extração de pré-molares é uma prática frequente, com cerca de 30% dos casos¹³⁻¹⁵. Para permitir que pacientes de casos complexos, como a biprotrusão, se beneficiem do tratamento com alinhadores, os ortodontistas devem fazer planejamentos para compensar a limitação do controle dos movimentos proporcionado por eles. A limitação dos alinhadores está relacionada às propriedades do material polimérico elástico, que não consegue simultaneamente oferecer alta elasticidade para produzir uma força ortodôntica adequada e força suficiente para garantir o movimento completo dos dentes para a posição desejada¹⁶.

Diante do exposto podemos observar que, apesar das tecnologias de alinhadores tenham melhorado significativamente, ainda existem limitações nos casos em que as correções envolvem sistemas de força complexos. A biomecânica dos alinhadores transparentes ainda não é clara, principalmente na obtenção de resultados razoáveis nos casos de extração. Os alinhadores geram força e movimento, e os seus attachment podem melhorar o controle do movimento¹⁷.

Desta forma é importante conhecer e estudar os movimentos biomecânicos dos alinhadores durante o fechamento de espaço sem mecânica auxiliar e assim produzir fundamentação científica sobre os reais movimentos realizados pelos mesmos¹⁸. Apesar dos attachment terem reduzidos movimentos não intencionais de inclinação e rotação, a distância entre posição do encaixe e o centro de resistência do dente gerou mecanismo de inclinação e rotação durante o movimento dentário¹⁹. Mas há pouco suporte científico sobre como os alinhadores geram movimentos e como os attachment podem ajudar a realizar os movimentos esperados.

Sabemos que os estudos clínicos são mais restritos na literatura, e por isso um importante instrumento tem sido bastante utilizado na pesquisa ortodôntica, o Método dos Elementos Finitos (MEF) o qual se destaca por permitir estudar tensões geradas no ligamento periodontal e osso alveolar durante o movimento dentário, direção do deslocamento dos dentes, áreas de reabsorção radicular, dentre outros. Porém, o MEF apresenta algumas limitações, tais como eventos biológicos, comprimento e morfologia da raiz, propriedade do material do alinhador, eventos de reabsorção-aposição presentes em intervalos de tempo variáveis, intrusão não intencional dos dentes anteriores causada por distorção do aparelho²⁰. Mas, tem se mostrado uma alternativa precisa e não invasiva aos métodos experimentais com animais, permitindo o controle de variáveis e fornecendo dados quantitativos detalhados sobre estruturas internas, como o ligamento periodontal²¹. De forma confiável podemos analisar por meio de elementos finitos os efeitos biomecânicos da movimentação ortodôntica²².

Assim, a fim de contribuir para a melhor compreensão biomecânica dos alinhadores transparentes durante a prática clínica do fechamento de espaços, este trabalho tem por objetivo a análise, por meio de elementos finitos, em um modelo biprotruso e com extração do primeiro pré-molar maxilar, dos efeitos biomecânicos dos alinhadores no fechamento do espaço.

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Existe uma complexidade no tratamento do fechamento de espaço com alinhadores transparentes, revelando padrões de movimentação ao espaço da extração como inclinação distal da coroa do canino, acompanhada de rotação e extrusão, enquanto o segundo pré-molar apresentou inclinação mesialização da coroa associada a intrusão.
- A forma e o tamanho dos *attachments* influenciam diretamente no controle do movimento dental durante o fechamento de espaço. Entre os modelos simulados, os *attachments* retangulares verticais e horizontais demonstraram resultados semelhantes; no entanto, o retangular vertical promoveu um deslocamento mais uniforme da coroa e da raiz, reduzindo a a inclinação indesejada durante o fechamento de espaço. A escolha adequada do *attachment* pode contribuir para um melhor controle do movimento dental no tratamento com alinhadores.

REFERÊNCIAS*

1. Liu F, Wang Y, Luopei D, Qu X, Liu L. Comparison of fixed braces and clear braces for malocclusion treatment. *BMC Oral Health*. 2024; 24(1): 941.
2. Pithon MM, Baião FCS, Sant Anna LID de A, Paranhos LR, Cople Maia L. Assessment of the effectiveness of invisible aligners compared with conventional appliance in aesthetic and functional orthodontic treatment: a systematic review. *J Investig Clin Dent*. 2019; 10(4): e12455.
3. Caldas W, Bonin FA, Vianna CP, Shimizu RH, Trojan LC. Influence of pain duration and severity on oral health-related quality of life and patient satisfaction during adult treatment with clear aligners. *Prog Orthod*. 2024; 25(1): 18.
4. Gao M, Yan X, Zhao R, Shan Y, Chen Y, Jian F, Long H, Lai W. Comparison of pain perception, anxiety, and impacts on oral health-related quality of life between patients receiving clear aligners and fixed appliances during the initial stage of orthodontic treatment. *Eur J Orthod*. 2021; 43(3): 353-359.
5. Baldwin DK, King G, Ramsay DS, Huang G, Bollen AM. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 3: Premolar extraction patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008; 133(6): 837-845.
6. Dai FF, Xu TM, Shu G. Comparison of achieved and predicted tooth movement of maxillary first molars and central incisors: First premolar extraction treatment with Invisalign. *Angle Orthod*. 2019; 89(5): 679-687.
7. Sachdev S, Tantidhnazet S, Saengfai NN. Accuracy of Tooth Movement with In-House Clear Aligners. *J World Fed Orthod*. 2021; 10(4): 177-182.

* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacaoatualizado.pdf>

8. Muro MP, Caracciolo ACA, Patel MP, Feres MFN, Roscoe MG. Effectiveness and predictability of treatment with clear orthodontic aligners: A scoping review. *Int Orthod*. 2023; 21(2): 100755.
9. 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): 881-889.
10. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014; 145(6): 728-736.
11. Galan-Lopez L, Barcia-Gonzalez J, Plasencia E. A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with invisalign®. *Korean J Orthod*. 2019; 49(3): 140-149.
12. Yassir YA, Nabbat SA, McIntyre GT, Bearn DR. Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investig*. 2022; 26(3): 2353-2370.
13. Jena AK, Mohapatra M, Sharan J, Patro BK. Temporary deterioration of oral health-related quality of life (OHRQoL) in nonextraction and extraction modalities of comprehensive orthodontic treatment in adolescents. *Angle Orthod*. 2020; 90(4): 578-586.
14. Araújo TM, Caldas LD. Tooth extractions in orthodontics: First or second premolars?. *Dental Press J Orthod*. 2019; 24(3): 88-98.
15. Ruellas ACO, Ruellas RMO, Romano L, Pithon MM, Lacerda RH, Santos D. Tooth extraction in orthodontics: an evaluation of diagnostic elements. *Dental Press J Orthod*. 2010; 15(3): 134-57.
16. Zhu G yin, Zhang B, Yao K, et al. Finite element analysis of the biomechanical effect of clear aligners in extraction space closure under different anchorage controls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023; 163(5): 628-644.e11.

17. Barone S, Paoli A, Razionale A V, Savignano R. Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners. *Int J Numer Method Biomed Eng.* 2017; 33(8): 1-15.
18. Yokoi Y, Arai A, Kawamura J, Uozumi T, Usui Y, Okafuji N. Effects of Attachment of Plastic Aligner in Closing of Diastema of Maxillary Dentition by Finite Element Method. *J Healthc Eng.* 2019; 1-6.
19. 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(1): 507-17.
20. Cheng Y, Gao J, Fang S, Wang W, Ma Y, Jin Z. Torque movement of the upper anterior teeth using a clear aligner in cases of extraction: a finite element study. *Prog Orthod.* 2022; 23(1): 1-11.
21. Knop L, Gandini LG, Shintcovsk RL, Gandini MREAS. Scientific use of the finite element method in orthodontics. *Dental Press J Orthod.* 2015; 20(2): 119-125.
22. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. The finite element method: A tool to study orthodontic tooth movement. *J Dent Res.* 2005;84(5):428-433.
23. Xie F, Teng L, Jin X, Zheng J, Xu J, Lu J, Zhang C, Xu M, Zeng H, Li S, Sun X. Systematic analysis of clinical outcomes of anterior maxillary and mandibular subapical osteotomy with preoperative modeling in the treatment of bimaxillary protrusion. *J Craniofac Surg.* 2013; 24(6): 1980-6.
24. Bills DA, Handelman CS, Begole EA. Bimaxillary dentoalveolar protrusion: Traits and orthodontic correction. *Angle Orthod.* 2005; 75(3): 333-339.
25. Rajandram RK, Ponnuthurai L, Mugunam K, Chan YS. Management of Bimaxillary Protrusion. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2023; 35(1): 23-35.

26. Chu YM, Bergeron L, Chen YR. Bimaxillary Protrusion: An Overview of the Surgical-Orthodontic Treatment. *Semin Plast Surg.* 2009; 23(01): 032-039.
27. Ming TC. Spectrum and management of dentofacial deformities in a multiethnic Asian population. *Angle Orthod.* 2006; 76(5): 806-809.
28. Lahlou K, Bahoum A, Makhoukhi MB, Aalloula EH. Comparison of dentoalveolar protrusion values in Moroccans and other populations. *Eur J Orthod.* 2010; 32(4): 430-434.
29. Freitas LMA, Pinzan A, Janson G, Crepaldi MV, Freitas MCA, Freitas DS. Padrão esquelético, dentário e tegumentar de jovens Brasileiros melanodermas com "oclusão normal". *Rev. Uningá (Impr.).* 2008; (17): 161-80.
30. Chen G, Teng F, Xu TM. Distalization of the maxillary and mandibular dentitions with miniscrew anchorage in a patient with moderate Class i bimaxillary dentoalveolar protrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016; 149(3): 401-410.
31. Chu YM, Bergeron L, Chen YR. Bimaxillary Protrusion: An Overview of the Surgical-Orthodontic Treatment. *Semin Plast Surg.* 2009; 23(01): 032-039.
32. Rajandram RK, Ponnuthurai L, Mugunam K, Chan YS. Management of Bimaxillary Protrusion. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2023; 35(1): 23-35.
33. Almeida MR. Biomechanics of extra-alveolar miniimplants. *Dental Press J Orthod.* 2019; 24(4): 93-109.
34. Aljhani A, Zawawi KH. The use of miniimplants in en masse retraction for the treatment of bimaxillary dentoalveolar protrusion. *Saudi Dent J.* 2010; 22(1): 35-39.
35. Solem RC, Marasco R, Guiterrez-Pulido L, Nielsen I, Kim SH, Nelson G. Three-dimensional soft-tissue and hard-tissue changes in the treatment of bimaxillary protrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013; 144(2): 218-228.

36. Dai FF, Xu TM, Shu G. Comparison of achieved and predicted tooth movement of maxillary first molars and central incisors: First premolar extraction treatment with Invisalign. *Angle Orthod.* 2019; 89(5): 679-687.
37. Dai F fan, Xu T min, Shu G. Comparison of achieved and predicted crown movement in adults after 4 first premolar extraction treatment with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021; 160(6): 805-813.
38. Feng X, Jiang Y, Zhu Y, et al. Comparison between the designed and achieved mesiodistal angulation of maxillary canines and posterior teeth and influencing factors: First premolar extraction treatment with clear aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022; 162(2): e63-e70.
39. Chen J, Wen J, Huang L, Zhang L, Han L, Li H. Comparisons of maxillary incisor retraction effects for patients with first premolar extractions between Damon Q and Invisalign®: A retrospective study. *Medicine (Baltimore).* 2022; 101(40): e30919.
40. Ren L, Liu L, Wu Z, et al. The predictability of orthodontic tooth movements through clear aligner among first-premolar extraction patients: a multivariate analysis. *Prog Orthod.* 2022; 23(1): 52.
41. Song JH, Lee JH, Joo BH, Choi YJ, Chung CJ, Kim KH. Treatment outcome comparison of Invisalign vs fixed appliance treatment in first premolar extraction patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024; 165(4): 399-413.
42. Jiang T, Wu RY, Wang JK, Wang HH, Tang GH. Clear aligners for maxillary anterior en masse retraction: a 3D finite element study. *Sci Rep.* 2020; 10(1): 10156.
43. Liu L, Song Q, Zhou J, et al. The effects of aligner overtreatment on torque control and intrusion of incisors for anterior retraction with clear aligners: A finite-element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022; 162(1): 33-41.

44. Cheng Y, Liu X, Chen X, et al. The three-dimensional displacement tendency of teeth depending on incisor torque compensation with clear aligners of different thicknesses in cases of extraction: a finite element study. *BMC Oral Health*. 2022; 22(1): 1-12.
45. Wang Q, Dai D, Wang J, Chen Y, Zhang C. Biomechanical analysis of effective mandibular en-masse retraction using Class II elastics with a clear aligner: a finite element study. *Prog Orthod*. 2022; 23(1): 1-14.
46. Yang Y, Yang R, Liu L, et al. The effects of aligner anchorage preparation on mandibular first molars during premolar-extraction space closure with clear aligners: A finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023; 164(2): 226-238.
47. Liu J qi, Zhu G yin, Wang Y gan, Zhang B, Yao K, Zhao Z he. Different biomechanical effects of clear aligners in closing maxillary and mandibular extraction spaces: Finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023; 163(6): 811-824.e2.
48. Wang Y gan, Zhu G yin, Liu J qi, Wang Y fan, Zhao Z he. Dynamic biomechanical changes of clear aligners during extraction space closure: Finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2024; 165(3): 272-284.e3.
49. Zhu G yin, Zhang B, Yao K, et al. Finite element analysis of the biomechanical effect of clear aligners in extraction space closure under different anchorage controls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023; 163(5): 628-644.e11.
50. Cortona A, Rossini G, Parrini S, Deregibus A, Castroflorio T. Clear aligner orthodontic therapy of rotated mandibular round-shaped teeth: A finite element study . *Angle Orthod*. 2020; 90(2): 247-254.
51. Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: A systematic literature review. *Angle Orthod*. 2003; 73(1): 86-92.

52. Liu L, Zhan Q, Zhou J, et al. Effectiveness of an anterior mini-screw in achieving incisor intrusion and palatal root torque for anterior retraction with clear aligners. *Angle Orthod.* 2021; 91(6): 794-803.
53. Lyu X, Cao X, Yan J, Zeng R, Tan J. Biomechanical effects of clear aligners with different thicknesses and gingival-margin morphology for appliance design optimization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023; 164(2): 239-252.
54. Elshazly TM, Bourauel C, Aldesoki M, et al. Computer-aided finite element model for biomechanical analysis of orthodontic aligners. *Clin Oral Investig.* 2023; 27(1): 115-124.
55. Ye N, Brown BE, Mantell SC, Heo YC, Larson BE, Fok AS. Validation of finite element models for orthodontic aligners. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2022; (134): 105404.
56. Cheng Y, Gao J, Fang S, Wang W, Ma Y, Jin Z. Torque movement of the upper anterior teeth using a clear aligner in cases of extraction: a finite element study. *Prog Orthod.* 2022; 23(1): 26.
57. Schneider PP, Júnior LGG, Da Costa Monini A, Dos Santos Pinto A, Kim KB. Comparison of anterior retraction and anchorage control between en masse retraction and two-step retraction: A randomized prospective clinical trial. *Angle Orthod.* 2019; 89(2): 190-199.
58. Ho C Te, Huang YT, Chao CW, Huang TH, Kao CT. Effects of different aligner materials and attachments on orthodontic behavior. *J Dent Sci.* 2021; 16(3): 1001-1009.
59. Jedliński M, Mazur M, Greco M, Belfus J, Grocholewicz K, Janiszewska-Olszowska J. Attachments for the Orthodontic Aligner Treatment-State of the Art-A Comprehensive Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2023; 20(5): 4481.

60. Nucera R, Dolci C, Bellocchio AM, Costa S, Barbera S, Rustico L, Farronato M, Militi A, Portelli M. Effects of Composite Attachments on Orthodontic Clear Aligners Therapy: A Systematic Review. *Materials (Basel)*. 2022; 15(2):533.

61. Elshazly TM, Keilig L, Salvatori D, Chavanne P, Aldesoki M, Bourauel C. Effect of trimming line design and edge extension of orthodontic aligners on force transmission: An in vitro study: Trimming Line Design of Orthodontic Aligners. *J Dent*.2022; 125: 104276.

62. Castroflorio T, Sedran A, Parrini S, Garino F, Reverdito M, Capuozzo R, Mutinelli S, Grybauskas S, Vaitiekūnas M, Deregibus A. Predictability of orthodontic tooth movement with aligners: effect of treatment design. *Prog Orthod*. 2023; 24(1): 1-12.