

Atendendo solicitação da  
autora, o texto completo desta  
dissertação será disponibilizado  
somente a partir  
de 28/02/2025



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



**Carolina Servidoni Spreafico**

**Simulação da verticalização de molares por arco lingual de TMA: uma análise biomecânica tridimensional de diferentes ativações**

**Araraquara**

**2023**



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



**Carolina Servidoni Spreafico**

**Simulação da verticalização de molares por arco lingual de TMA: uma análise biomecânica tridimensional de diferentes ativações**

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

**Orientador: Prof. Dr. Helder Baldi Jacob**

**Araraquara**

**2023**

S768s

Spreafico, Carolina Servidoni

Simulação da verticalização de molares por arco lingual de TMA:  
uma análise biomecânica tridimensional de diferentes ativações /  
Carolina Servidoni Spreafico. -- Araraquara, 2023

52 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Odontologia, Araraquara

Orientadora: Helder Baldi Jacob

1. Ortodontia corretiva. 2. Fenômenos biomecânicos. 3. Técnicas de  
movimentação dentária. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de  
Odontologia, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**Carolina Servidoni Spreafico**

**Simulação da verticalização de molares por arco lingual de TMA: uma análise biomecânica tridimensional de diferentes ativações**

**Comissão julgadora**

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ortodontia**

Presidente e orientador Prof. Dr. Helder Baldi Jacob

2º Examinador: Prof. Dr. Luiz Gongaza Gandini Júnior

3º Examinador: Prof. Dr. Sergei Godeiro Fernandes Rabelo Caldas

Araraquara, 28 de fevereiro de 2023.

## **DADOS CURRICULARES**

### **Carolina Servidoni Spreafico**

NASCIMENTO: 01/07/1990 – Araraquara – SP

FILIAÇÃO: Carlos Alberto Spreafico e Rita de Cássia Servidoni Spreafico

2009 - 2014 - Graduação em Odontologia pela UNESP.

2015 - 2018 - Curso de Especialização em Ortodontia: Grupo de Estudos Ortodônticos e Serviços – GESTOS.

2021/Atual - Curso de Pós-Graduação: Mestrado pelo programa de Ciências Odontológicas. Área de concentração em Ortodontia: Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP.

A **Deus**, por me proporcionar tantas bênçãos ao longo desses anos, por ter encaminhado pessoas tão maravilhosas que me ajudaram no meu crescimento pessoal e profissional. Sem Ele, nada disso seria possível.

Aos meus queridos pais **Carlos** e **Cássia**, por todo amor e ensinamentos.

Ao meu noivo **Caio**, por estar sempre do meu lado, me apoiando e acreditando em todos os meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

À **Faculdade de Odontologia de Araraquara** - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita por possibilitar evoluir e crescer profissionalmente.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Helder Baldi Jacob**, por acreditar em mim e estar sempre ao meu lado. Obrigada por tanto conhecimento transmitido, e nunca medir esforços para me ajudar. Obrigada por ser amigo e mestre. Serei eternamente grata!

Ao **Prof. Dr. Luiz Gandini Jr.**, por tanto conhecimento e estudos ao longo desses anos, aprendi muito com o senhor. Gratidão pela amizade!

Aos Professores do Mestrado em Ortodontia que são responsáveis pela minha formação e crescimento pessoal, Professores: **Dr. Ary dos Santos Pinto, Dr. Dirceu Barnabé Ravelli, Dr. João Roberto Gonçalves, Dra. Lídia Parsekian Martins, Dr. Lucas Arrais de Campos, Dr. Jonas Bianchi.**

A todos os meus **queridos amigos de pós-graduação**, em especial: Raissa, Henrique, Pedro, Bárbara, Karina e Ana Thaís.

Aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Araraquara – FOAr – UNESP, **Cristiano e Alexandre.**

Aos protéticos **Diego e Toninho** do Departamento de Clínica Infantil da Faculdade de Odontologia de Araraquara, por me ajudar em todos os momentos que precisei.

A bibliotecária **Ana Cristina**, por toda colaboração.

A todos aqueles que de alguma forma colaboraram com a realização deste trabalho.

*"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original"*

Albert Einstein

Spreafico CS. Simulação da verticalização de molares por arco lingual de TMA: uma análise biomecânica tridimensional de diferentes ativações [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2023.

## RESUMO

Esse estudo avaliou por meio de uma máquina de ensaio mecânico, *Orthodontic Force Tester* (OFT), o sistema de força tridimensional gerado pelo arco lingual (AL). Diferentes ativações para a verticalização do segundo molar inferior foram efetuadas e a força vertical (FZ), o torque de coroa (MX) e o momento de verticalização (MY) foram mensurados. A pesquisa foi dividida em dois capítulos: Capítulo 1, com as aferições efetuadas após a confecção e ativações (simétricas de 10°, 20° e 30° por meio de dobras e curvaturas) dos ALs e no Capítulo 2, com as aferições mensuradas após um período de 28 dias devido ao relaxamento estrutural do estresse (alívio de tensão estrutural) dos ALs. Material e Método: O primeiro estudo comparou dois tipos de ativações no AL, em dobra (G1) e em curvatura (G2), com subgrupos de ativações simétricas de 10°, 20° e 30°. Foram utilizados no total 60 arcos linguais de Burstone 0.032" x 0.032" TMA (ORMCO), 30 para G1 e 30 para G2, sendo 10 unidades para cada subgrupo. O segundo estudo avaliou e comparou a perda da desativação do arco lingual após 28 dias. Resultados: No capítulo 1, tanto o G1 quanto o G2 apresentaram baixas forças extrusivas (FZ): -28,3 cN (G1\_10°), -52,2 cN (G1\_20°), -65,8 cN (G1\_30°), -12,7 cN (G2\_10°), -28,3 cN (G2\_20°), e -46,8 cN (G2\_30°). O momento de verticalização (MY) foi no sentido méso-distal para ambas as ativações, e os valores obtidos variaram entre -1087,5 cN.mm (G2\_10°) e -4298,9 cN.mm (G1\_30°). Não houve diferença entre o torque da coroa, ambas ativações tiveram torque vestibular. Conclusão: No capítulo 1, pode-se concluir que ativação do arco lingual em dobra produziu maiores valores de sistema de força, e no capítulo 2, observou-se perda gradual em ambos os grupos, sendo o efeito relaxamento do estresse é mais evidente no grupo ativado por dobra.

**Palavras chave:** Fenômenos Biomecânicos. Técnicas de movimentação dentária. Arco dental.

Spreafico CS. Simulation of molar uprighting by TMA lingual arch: a 3-dimensional biomechanical analysis of different activations [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2023.

## **ABSTRACT**

This study evaluated, using a mechanical test machine, Orthodontic Force Tester (OFT), the three-dimensional force system generated by the lingual arch (AL). Different activations for uprighting the mandibular second molar were performed and the vertical force (FZ), crown torque (MX) and uprighting moment (MY) were measured. The research was divided into two chapters: Chapter 1, with the measurements taken after making and activations (symmetrical 10°, 20° and 30° through folds and curvatures) of the LAs and in Chapter 2, with the measurements measured after a period of 28 days due to structural stress relaxation (structural strain relief) of the LAs. Material and Method: The first study compared two types of activations in the LA, bending (G1) and curvature (G2), with subgroups of symmetrical activations of 10°, 20° and 30°. A total of 60 Burstone 0.032" x 0.032" TMA (ORMCO) lingual archwires were used, 30 for G1 and 30 for G2, 10 units for each subgroup. The second study evaluated and compared the loss of lingual arch deactivation after 28 days. Results: In chapter 1, both G1 and G2 showed low extrusive forces (FZ): -28.3 cN (G1\_10°), -52.2 cN (G1\_20°), -65.8 cN (G1\_30°), -12.7 cN (G2\_10°), -28.3 cN (G2\_20°), and -46.8 cN (G2\_30°). The verticalization moment (MY) was in the mesio-distal direction for both activations, and the values obtained varied between -1087.5 cN.mm (G2\_10°) and -4298.9 cN.mm (G1\_30°). There was no difference between crown torque, both activations had buccal torque. Conclusion: In chapter 1, it can be concluded that activation of the lingual arch in bending produced higher force system values, and in chapter 2, gradual loss was observed in both groups, with the relaxation effect of stress being more evident in the fold-activated group.

**Keywords:** Biomechanical phenomena. Tooth movement techniques. Dental arch.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 PROPOSIÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>3 PUBLICAÇÕES .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Publicação 1 .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Publicação 2 .....</b>	<b>34</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A perda de elemento dentário prejudica a capacidade de mastigar e digerir alimentos, além de gerar problemas psicológicos por impactar negativamente a autoestima da pessoa. Os dentes mais acometidos pela perda dentária são os primeiros molares permanentes devido a lesão cariogênica e doenças periodontais<sup>1</sup>. Essa perda dentária acarreta uma alteração na oclusão bem como na capacidade mastigatória, sendo que os dentes adjacentes e antagonistas apresentam uma modificação em sua posição<sup>2</sup>.

Normalmente com a perda de um elemento dentário, o dente posterior ao espaço edêntulo apresenta uma mesialização<sup>3</sup> e o dente anterior sofre uma distalização, implicando na formação de uma bolsa periodontal<sup>4</sup> e colapso na oclusão<sup>5</sup>, além de extrusão do dente antagonista<sup>2,6</sup>. O movimento dentário dos dentes adjacentes normalmente está associado a uma inclinação da coroa na direção do movimento. Independentemente de optar-se por adequar o espaço edêntulo ou fechá-lo<sup>7</sup>, a verticalização de molares se faz importante em ambos os aspectos.

Vários métodos para a verticalização de molares têm sido propostos utilizando sistemas de forças estaticamente determinado (sistema de força não altera durante a movimentação das unidades ou devido a desativação do sistema de forças – um binário) ou indeterminado (sistema de força altera durante a movimentação das unidades ou devido a desativação do sistema de forças – dois binários). O uso do arco lingual (AL) é uma abordagem muito utilizada na técnica do arco segmentado, onde o arco dentário é dividido em unidade ativa e passiva, permitindo uma melhor análise do sistema de força a ser empregado, ou seja, onde os valores de força e momento são conhecidos e/ou mensuráveis. Com um sistema de força previamente determinado, pode-se prever o comportamento de um dente ou unidade dentária. Quando o número de variáveis é muito elevado, como com uma técnica de arco contínuo, a previsão ortodôntica torna-se praticamente impossível de maneira simples e clinicamente viável<sup>8,9</sup>. É importante enfatizar que o conhecimento das magnitudes relativas das forças e momentos e, especialmente suas direções, são mais relevantes do que a descrição dos valores reais. Sem esse conhecimento os ortodontistas são incapazes de prever os movimentos dos dentes alcançáveis por seus aparelhos<sup>10</sup>.

Dentro da técnica do arco segmentado, podemos usar três formas de sistema de força para verticalizar o segundo molar: um e dois cantiléver, e mola de correção

radicular. Tanto o cantilever quanto a alça de correção são, normalmente, construídos com fio ortodôntico 0,017" X 0,025" de titânio molibidênio (*Titanium Molybdenum Alloy* – TMA), pois essa liga apresenta maior flexibilidade que o aço, fornecendo uma distribuição de força contínua<sup>5</sup>, sendo mais favorável para a saúde periodontal, especialmente em pacientes adultos<sup>8</sup>.

O arco transpalatino e/ou arco lingual têm se mostrado como boas opções com o intuito de verticalização de molares. O uso do arco lingual (AL) é uma abordagem muito utilizada na técnica do arco segmentado, onde o arco dentário é dividido em unidade ativa e passiva, permitindo uma melhor análise do sistema de força a ser empregado, ou seja, os valores de força e momento são conhecidos e/ou mensuráveis. Esses arcos, com ativação simétrica (Geometria VI), fornecem um sistema de força mensurável e relativamente previsível (momento e força), gerando verticalização do molar e evitando sua extrusão. Ativações anteriores e posteriores simétricas são indicadas para inclinação correta sem geração de forças verticais<sup>4</sup>.

Outra possibilidade terapêutica para verticalização de dentes é o uso de mini parafuso ou mini implante ortodôntico (MI) como forma de ancoragem, direta ou indireta. Os MIs são muito efetivos, possui facilidade de instalação, remoção, conforto, baixo custo e com necessidade mínima de colaboração dos pacientes. Também são indicados para casos complexos onde a mecânica tradicional não pode ser utilizada, principalmente em pacientes adultos<sup>11</sup>. Em casos de moderada a grave mesialização do molar, o momento gerado por uma única força é limitado devido à distância reduzida da linha de ação da força ao centro de resistência, e a força extrusiva é um efeito inevitável<sup>9</sup>.

Alguns dispositivos associam diferentes ligas metálicas para movimentação de dentes. A mola de Sander, um dispositivo pré-fabricado que associa fios de níquel-titânio e de aço conectados por um tubo transversal, apresenta vários protocolos de ativações para controlar momentos e forças verticais dependendo da sua indicação<sup>12</sup>. Embora diferentes ativações e comprimentos de fios são propostos para melhor controlar o sistema de força, testes mecânicos mostraram forças verticais extrusivas no movimento de verticalização dentário<sup>13</sup>.

A maioria dos aparelhos de verticalização dentária produz, além do momento, forças extrusivas. Em muitos casos a extrusão é indesejável e resulta em contato prematuro e mordida aberta. Em pacientes com forte padrão muscular, a força oclusal ajuda a neutralizar a força extrusiva<sup>5</sup>. Portanto, existem várias formas de abordagem

para verticalização de molar, sendo o efeito de extrusão vantajoso para alguns pacientes, mas na maioria das situações a verticalização sem extrusão é o melhor objetivo<sup>5,14</sup>. Para esse efeito indesejado de extrusão, é necessário um maior controle da força vertical. Para tanto arco lingual e/ou barra transpalatina podem ser utilizados aplicando a geometria VI, preconizada por Burstone em 1970<sup>15</sup>. O princípio da geometria VI compreende exatamente a situação de verticalização de molar; o sistema de força que atua sobre o fio é composto de momentos iguais e opostos e as forças se anulam<sup>16</sup>.

Para verticalização de molar, a força aplicada deve ser avaliada com um medidor de força, e os momentos devem de aproximadamente 2000 cN.mm, mas não superior a 3000 cN.mm<sup>10</sup>. Um sistema de força que gera com extrusão significativa do molar, produzirá uma força de intrusão excessiva no segmento de ancoragem (unidade passiva). Em casos onde forças verticais não são possíveis de serem evitadas, uma força menor deve ser produzida, ou mais importante, um braço de alavanca mais longo deve ser utilizado, já que o momento é resultante da força e da distância. Outra forma de evitar as forças e manter apenas momentos, é a utilização de ativação simétrica (geometria VI) do dispositivo de verticalização dentária, como anteriormente mencionado.

Entre as várias ligas metálicas utilizadas para confecções de dispositivos de verticalização de dentes, a liga de titânio molibidênio ( $\beta$ -titanium) é umas das mais comuns, devido suas propriedades mecânicas como formabilidade e carga-deflexão. A liga de titânio molibidênio apresenta uma capacidade do fio retornar a sua forma e estrutura original, dispersando a energia acumulada, conhecido como efeito Baushinger<sup>11</sup>. Após a pré-ativação do dispositivo ortodôntico, se faz necessário a liberação da tensão incorporada no fio antes de sua instalação, fazendo com que os sistemas de forças gerados sejam adequados para tal movimentação indicada. Essa simulação da ativação consiste em posicionar o AL em posição neutra, ou seja, simulando o encaixe do dispositivo de movimentação dentária ao acessório. A posição neutra pode ser definida como a separação horizontal e vertical da mola antes da introdução de uma força no plano horizontal ou mesiodistal<sup>12</sup>.

Embora de simples confecção e universalmente utilizado, o AL não apresenta estudos reportados pela literatura avaliando o sistema de força utilizado para verticalização de molares. O objetivo desse estudo é avaliar tridimensionalmente e comparar o sistema de carga produzido por um arco lingual na verticalização de molar,

aplicando Geometria VI de Burstone, por meio do Orthodontic Force Tester (OFT), com dois tipos de ativação: em dobra e em curvatura no arco, e após 28 dias avaliar os sistemas de força na desativação do arco.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### **Publicação 1:**

Os arcos linguais podem produzir nos molares inferiores momentos de verticalização ideais com pequenas ativações por dobras;

Arcos linguais podem ser usados para verticalizar molares com pequenas forças extrusivas verticais;

Arcos linguais com ativações de curvatura produzem forças verticais menores do que ativações em V;

Os momentos vestibulo-linguais gerados pelos arcos linguais ativos são mínimos;

Arcos linguais com ativações de dobra produzem valores maiores do que os que usam ativações de curvatura.

### **Publicação 2:**

Os valores da desativação do sistema de força em arco lingual ativado em dobra são mais evidentes do que em curvatura;

Sendo os momentos clinicamente aceitáveis, 20 N.mm para verticalização de molares, ativação em curvatura com 20° de ativação e talvez uma periodicidade de acompanhamento de 28/28 dias seria o recomendado.

## REFERÊNCIAS\*

1. Zuza E, Toledo BE. Prevalence and reasons for tooth loss in a sample from a dental clinic in Brazil. 2012; 2012: 719750.
2. Göllner N, Winkler J, Göllner P, Gkantidis N. Effect of mandibular first molar mesialization on alveolar bone height: a split mouth study. *Prog Orthod*. 2019; 20(1): 22.
3. Martins RP, Shintcovsk RL, Shintcovsk LK, Viecilli R, Martins LP. Second molar intrusion: continuous arch or loop mechanics. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2018; 154(5): 629–38.
4. Shellhart WC, Oesterle LJ. Uprighting molars without extrusion. *J Am Dent Assoc*. 1999;130(3): 381–5.
5. Raveli TB, Raveli DB, Mathias Almeida KC de, Pinto A dos S. Molar uprighting: a considerable and safe decision to avoid prosthetic treatment. *Open Dent J*. 2017; 11(1): 466–75.
6. Shintcovsk RL, Martins LP, Shintcovsk LK, Tanaka OM, Martins RP. Continuous arch and rectangular loops for the correction of consistent and inconsistent load systems in extruded and tipped maxillary second molars. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2018; 153(3): 396–404.
7. Winkler J, Göllner N, Göllner P, Pazera P, Gkantidis N. Apical root resorption due to mandibular first molar mesialization: a split-mouth study. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2017; 151(4): 708–17.
8. Kojima Y, Mizuno T, Fukui H. A numerical simulation of tooth movement produced by molar uprighting spring. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2007;132(5): 630–8.
9. Lee KJ, Park YC, Hwang WS, Seong EH. Uprighting mandibular second molars with direct miniscrew anchorage. *J Clin Orthod*. 2007; 41(10): 627–35.
10. Sakima MT, Dalstra M, Loiola AV, Gameiro GH. Quantification of the force systems delivered by transpalatal arches activated in the six Burstone geometries. *Angle Orthod*. 2017; 87(4): 542–8.
10. Braun S, Garcia JL. The Gable bend revisited. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2002; 122(5): 523–7.
11. Roberts WW, Frederic, Chacker M, Charles, Burstone J. A segmental approach, to mandibular molar uprighting. *Am J Orthod*. 1982; 81(3): 177-84.
12. Brandão HB. Avaliação de diferentes protocolos de ativações, gerada pela mola de Sander, na verticalização de molares [dissertação de mestrado] Araraquara: Faculdade de Odontologia da Unesp; 2022.
13. Sakima MT, Dalstra M, Loiola AV, Gameiro GH. Quantification of the force systems delivered by transpalatal arches activated in the six Burstone geometries. *Angle Orthod*. 2017; 87(4): 542–8.

---

\* 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-normalizacao-atualizado.pdf>

14. Magkavali-Trikka P, Emmanouilidis G, Papadopoulos MA. Mandibular molar uprighting using orthodontic miniscrew implants: a systematic review. *Prog Orthod.* 2018; 19(1): 1–12.
15. Sander FG, Wichelhaus A. Klinische Untersuchung Klinische Anwendung der neuen NiTi-SE-Stahl-Aufrichtefeder. 1995; 56 (6): 296-308.
16. Sunny S, Joseph DP, Mathew N, Rajan RS, Kurian E. Three-dimensional control on lingually rolled in molars using a 3D lingual arch. *J Clin Diagnostic Res.* 2017; 11(8): ZR01–3.