



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

JULIANA DA COSTA LISBOA

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES MINI-
IMPLANTES UTILIZADOS PARA MESIALIZAÇÃO DE
SEGUNDO MOLAR INFERIOR: análise por elementos finitos
3D**

2018

JULIANA DA COSTA LISBOA

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES MINI-IMPLANTES
UTILIZADOS PARA MESIALIZAÇÃO DE SEGUNDO MOLAR
INFERIOR: análise por elementos finitos 3D**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA E TECNOLOGIA APLICADA À ODONTOLOGIA.

Área: Inovação tecnológica multidisciplinar com ênfase em odontologia. Linha de pesquisa: Inovação tecnológica.

Orientador: Prof Adj Fellippo Ramos Verri

Coorientador: Prof Dr João Maurício Ferraz da Silva

São José dos Campos

2018

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2018]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Lisboa, Juliana da Costa

Estudo comparativo de diferentes mini-implantes utilizados para mesialização de segundo molar inferior: análise por elementos finitos 3D / Juliana da Costa Lisboa. - São José dos Campos : [s.n.], 2018.
45 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Aplicada à Odontologia - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2018.

Orientador: Fellippo Ramos Verri

Coorientador: João Mauricio Ferraz Silva

1. Análise de elementos finitos. 2. Movimentação dentária ortodôntica. 3. Ancoragem ortodôntica. I. Verri, Fellippo Ramos, orient. II. Silva, João Mauricio Ferraz, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof Adj Fellippo Ramos Verri (Orientador)

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Unesp
Faculdade de Odontologia
Campus de Araçatuba

Prof Adj José Benedito Oliveira Amorim

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Unesp
Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus de São José dos campos

Prof Dr Virgílio Vilas Boas Fernandes Junior

Universidade de Taubaté- Unitau
Faculdade de Odontologia
Campus de Taubaté

São José dos Campos, 13 de Julho de 2018.

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, **Anderson Lisboa** e **Andrea da Costa**, meu porto seguro! Só nós sabemos por quanto sofrimento e por quanta alegria já passamos. Quando eu era criança vocês se divorciaram e fizeram questão de frisar que o casal se separava mas que nossa família permaneceria unida! Vocês não mentiram e hoje, mais do que nunca, provamos o quanto isso é verdadeiro.*

Por todo cuidado, zelo e amor, impossível definir com palavras a minha gratidão!

AGRADECIMENTOS

À Deus, minha fortaleza. Sei que se cumpre Sua vontade em minha vida.

A querida Dennia, pois sem seu carinho, apoio, compreensão e serenidade, não teria chegado até aqui. Obrigada por estar ao meu lado e tornar essa jornada mais leve! Obrigada por tantas coisas que não caberia nessa folha de papel!

Ao meu sobrinho, Pedro, “amorzinho da titia”. Tão pequenino em estatura mas já se mostra um ser humano tão grande. Me ensina perdoar, amar incondicionalmente e manter sempre acesa a chama da esperança.

Ao meu irmão, Felipe, por toda uma vida compartilhada. Por ser meu amigo confidente! Te amo

Á minha avó materna Rosemary, meu exemplo de luta, bondade, amor e fé! Me ensina que não importa o tamanho da batalha, Deus nos ajuda e nunca nos desampara! Obrigada por ser tão forte e por ser essa matriarca que cuida de todos nós.

À minha avó paterna Marinalva, por ter essa alegria que me contagia desde a infância.

Ao meu avô materno Luis Fernando, que pouco fala com a boca mas muito fala com os olhos e coração!

À minha amada bisavó Nair Alves (in memoriam). Sinto uma saudade infinita!

Aos meus tios, Angélica e Josué, por responderem a todos os meus “por ques” e por serem tão especiais pra mim!

Ao meu tio Ricardo, por desde cedo me incentivar a estudar. Meu exemplo de inteligência e esforço.

À minha família em São José, Donizete, Sônia, Lilian, Bruninha e Lorena, por terem me “adotado”. Com vocês me sinto acolhida e amparada.

À minha madrasta Carla e ao meu irmão do coração Caio. Amo vocês!

Ao meu amigo Leonardo, meu muito obrigada pelos bons momentos e por todo apoio que ainda encontramos um no outro.

À minha grande amiga/ irmã Fernanda Papaiz, pela amizade, cumplicidade, companheirismo, puxões de orelha, choros e alegrias. Você é muito especial pra mim!

Á minha amiga Cintia, pelas risadas e momentos compartilhados durante a graduação. Sinto sua falta!

Às minhas queridas Ana Carolina e Lucimara, amizade que começou na infância e se fortifica a cada ano. Obrigada por fazerem parte da minha jornada.

Aos meus colegas do mestrado, especialmente a Daniela Ungaro e Márcio Abdala, amizade que espero levar por toda vida.

Ao prof Dr João Mauricio Ferraz da Silva, meu querido coorientador. Sua calma e gentileza me trouxeram até aqui. Não vou cansar de te agradecer por ter me dado suporte e coragem pra enfrentar esse desafio. Gratidão!

Ao meu orientador Prof Dr Fellippo Ramos Verri, por toda inteligência e conhecimento transmitidos. Meus sinceros agradecimentos.

Ao meu querido mestre Prof Ary Terra (in memorian), me ajudou a dar os primeiros passos na ortodontia. O senhor faz falta!

A prof Dra Marília Gabriela de Oliveira Lopes e ao Prof Dr Eduardo Uemura que contribuíram pra o enriquecimento desse trabalho. Muito Obrigada!

À minha querida Unesp, minha “casa”. Instituição a qual tenho muito orgulho em pertencer.

Aos funcionários da secretaria de pós graduação, especialmente ao Bruno e a Sandra, por todo apoio ao longo desse período.

Aos professores que direta ou indiretamente participaram da minha formação, meu muito obrigada!

“Todo caminho da gente é resvaloso. Mas, também, cair não prejudica demais

A gente levanta, a gente sobe, a gente volta!

O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim:

Esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta.

O que ela quer da gente é coragem.

Ser capaz de ficar alegre e mais alegre no meio da alegria,

E ainda mais alegre no meio da tristeza...”

Guimarães Rosa

SUMARIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Características dos mini-implantes.....	17
2.2 Aplicações dos mini-implantes.....	18
2.3 Mesialização de molares inferiores.....	20
2.4 Análise por elementos finitos.....	22
3 PROPOSIÇÃO.....	24
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
5 RESULTADOS.....	30
5.1 Análise dos mapas de deslocamento.....	30
5.2 Análise dos mapas de tensão máxima principal.....	32
6 DISCUSSÃO.....	36
7 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3 D	Tridimensional
μ	Coefficiente de Poisson
cN	Centinewton
DAT's	Dispositivos de Ancoragem Temporários
E	Módulo de Young
MEF	Método dos Elementos Finitos
mm	Milímetros
MPa	Megapascal
Ti-6Al-4V	Titanio-Alumínio-Vanádio
TMXP	Tensão Máxima Principal

Lisboa JC. Estudo comparativo de diferentes mini-implantes utilizados para mesialização de segundo molar inferior: análise por elementos finitos 3D. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2018.

RESUMO

A perda do primeiro molar é uma situação comum na rotina do consultório e com isso surgem alternativas de tratamento para reabilitação, sendo uma delas, o fechamento de espaço através da mesialização do segundo molar. O uso de mini-implante proporciona ancoragem máxima, costuma ser bem tolerado pelo paciente e se destaca pela facilidade de instalação e remoção, apresentando dessa maneira desempenho clínico bastante favorável. O objetivo desse estudo foi analisar a distribuição de tensões em modelo que simula a mesialização de molar inferior utilizando diferentes tipos de mini-implantes. Embasado no método dos elementos finitos foi obtido modelo ósseo de mandíbula por recomposição de uma tomografia computadorizada realizada pelo software Invesalius (CTI, São Paulo, Brasil). O desenho do segundo molar foi obtido por técnica de recomposição tomográfica. Elementos de ancoragem auto-perfurantes da marca Neodent e também auto-rosqueantes da marca Titanium Fix foram desenhados e modelados por ferramenta de revolução do perfil desenhado no software Rhinoceros 3D, inseridos ao bloco ósseo e então submetidos a cargas de 200 cN. Os resultados foram calculados e analisados pelo programa Ansys 17.0 para verificação por meio da análise de mapas de deslocamento e tensões máximas principais, principalmente do osso cortical e indicaram que, dentro do modelo experimental, o ligamento periodontal apresentou valores baixos de tensão máxima principal, porém dentro dos valores fisiológicos para prover a movimentação, com visualização de áreas de compressão e de tração com escala entre 0,1 a -0,1 MPa. Concluiu-se que a carga testada permite a deslocamento dentário porém com tendência a giroversão.

Palavras-chave: Análise de elementos finitos. Movimentação dentária ortodôntica. Ancoragem ortodôntica.

Lisboa, JC. Study of different mini-implants used for lower molar mesialização: Analysis by finite elements 3d. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2018.

ABSTRACT

The loss of the first molar is a common situation in the routine of the dentist and with this treatment alternatives for rehabilitation arises, one of them being the closure of space through the mesialization of the second molar. The use of mini-implants provides maximum anchorage, is well tolerated by the patient and stands out for ease installation and removal, thus presenting a very favorable clinical performance. The objective of this study was to analyze the stress distribution in a model that simulates the inferior molar mesialization using different types of mini-implants. Based on the finite element method, a mandible bone model was obtained by recomposing a computerized tomography performed by Invesal software (CTI, São Paulo, Brazil). The second molar design was obtained by a technique similar to the tomographic recomposition. Neodent self-piercing anchoring elements and also Titanium Fix self-piercing anchors were designed and modeled by a revolution tool in the Rhinoceros 3D software, inserted into the bone block and then subjected to loads of up to 200 cN. The results were calculated and analyzed by the Ansys 17.0 program for verification by means of the analysis of displacement maps and main maximum stresses, mainly of the cortical bone and indicated that, within the experimental model, the periodontal ligament presented low values of main maximum tension, however within the physiological values to provide the movement, with visualization of areas of compression and traction with scale between 0.1 and -0.1 MPa. It was concluded that the load tested allows dental displacement but with a tendency to gyroversion.

Keywords: Finite element analyses. Orthodontic Tooth Movement. orthodontic anchorage.

1 INTRODUÇÃO

A perda do primeiro molar é uma situação comum na rotina do consultório odontológico e o cirurgião dentista, especialmente o ortodontista, diante desse quadro, é frequentemente questionado sobre alternativas de tratamento para reabilitação ou fechamento de espaço (Janson, Silva, 2008).

A mesialização de molares é um recurso eficaz na mecânica ortodôntica e beneficia o paciente diminuindo a necessidade de substituição de dentes perdidos ou ausentes por próteses. Todavia, o movimento demanda maior tempo de tratamento, a mecânica induz alguns efeitos colaterais e também fatores envolvidos na qualidade do rebordo atrófico devem ser analisados e ponderados, para se evitar efeitos adversos (Janson, Silva, 2008).

Dentre a evolução da Ortodontia, merece ênfase o conceito de ancoragem osseointegrada, solução terapêutica capaz de unir diversas especialidades odontológicas em benefício da reabilitação da cavidade bucal (di Matteo et al., 2005), e pode ser definida como resistência ao movimento dentário indesejado (Zucaloto, Carvalho, 2008).

O uso de implantes como ancoragem temporária tem sido sistematicamente relatado na literatura científica nas últimas décadas (Drago, 1999) e traz a possibilidade de movimentação dentária com aumento da previsibilidade dos resultados (Marassi, Marassi, 2008; Crismani et al., 2010; Liu et al., 2012).

O sucesso da clínica ortodôntica vai além de fatores como harmonia facial, estética e chaves de oclusão. A minimização de possíveis efeitos colaterais durante o procedimento é imprescindível, e pensando nisso, surgiram os mini implantes como uma maneira de se conseguir ancoragem mais estável durante os movimentos mais complexos.

A Mesialização do segundo molar inferior é um tipo de movimento que quando realizado de maneira convencional, resulta geralmente em lingualização dos incisivos e inclinação mesial do molar (Lima et al., 2010). A ancoragem proveniente do uso do mini-implante, proporciona um adequado direcionamento do vetor de força, resultando em movimento de corpo (Sung et al., 2007; Janson, 2008a), ou seja, livre de inclinação e elimina a necessidade de inclusão de outros dentes na mecânica, eliminando qualquer possibilidade de movimentação indesejada da bateria anterior de dentes (Lima et al., 2010).

Os mini-implantes passaram a ser amplamente utilizados, devido, entre outros, a considerável eficiência clínica e acessibilidade, apresentando diâmetros que variam entre 1,2 mm a 2,0 mm e comprimento entre 5 a 12 mm, autorroscáveis ou auto-perfurantes e perfil transmucoso de 0 a 3 mm (Elias et al., 2012). Possuem elevada resistência a fratura e baixa propensão a osseointegração devido a liga de titânio grau V (Ti-6Al-4V) com que são fabricados (Elias et al., 2012).

Para a realização do movimento ortodôntico aplicam-se forças que provocam tensão e/ou pressão, promovendo alterações dinâmicas nos tecidos periodontais, o que torna possível a mudança das posições dentárias (Gimenez et al., 2007). A espessura do rebordo alveolar define os limites da movimentação ortodôntica, e desafiar essas fronteiras pode redundar em efeitos colaterais iatrogênicos para o periodonto de sustentação e proteção (Garib et al., 2010).

O mecanismo de ação e reação dos mini-implantes na mesialização de molares pode ser estudado biomecanicamente através do método dos elementos finitos (MEF), que consiste em um método matemático através do qual um meio contínuo é subdividido em elementos, mantendo as suas propriedades originais, transformando, dessa maneira, um problema complexo na soma de diversos problemas simples, solucionando então todo o conjunto (Lotti et al., 2006; Chatzigianni et al., 2011). Com isso, podemos modelar matematicamente

estruturas complexas com geometrias irregulares de tecidos naturais e artificiais, como os dentes, ossos e biomateriais e aplicar um sistema de forças, promovendo informações de deslocamento e tensão produzidos por essas cargas ao objeto analisado (Knox et al., 2000; Lotti et al., 2006).

2 REVISÃO DE LITERATURA

É significativa a quantidade de pacientes adultos que procuram tratamento ortodôntico previamente a tratamentos reabilitadores oclusais (di Matteo et al., 2005). Em sua maioria, encontra-se mutilações e agenesias dentárias, com inclinações dos dentes posteriores remanescentes, que não permitem uma adequada distribuição das cargas axiais das forças de oclusão, estando associados ainda, a perdas ósseas e problemas periodontais (di Matteo et al., 2005).

Frente as alternativas reabilitar o espaço edêntulo através de prótese ou mesialização ortodôntica, o profissional tem que avaliar alguns aspectos, tais como, a má oclusão presente, a integridade do osso e das raízes, o tempo de tratamento e a geometria do posicionamento dentário, que é o que permite avaliar se, com o fechamento dos espaços, a finalização estará de acordo com os ideais que regem a especialidade (Janson, Silva, 2008).

A crescente demanda de métodos de tratamentos que requerem complicação mínima associado ao controle máximo de ancoragem tem norteado a expansão da tecnologia de implantes em ortodontia (Namiuchi Junior et al., 2013). Obter tal deslocamento sem que haja a alteração do posicionamento dos elementos que servem como ancoragem do sistema sempre foi o maior desafio dos ortodontistas (Lima et al., 2010).

São inúmeras as formas de ancoragem descritas na literatura, como barra-lingual e transpalatina, botão de Nance, elásticos intermaxilares e aparelho extrabucal, que apesar de eficazes, permitem certo grau de movimentação da unidade de ancoragem ou dependem da colaboração do paciente (Araújo et al., 2006). Para o tratamento de más oclusões mais severas, otimização de resultados com mecânicas mais simples ou, ainda, diminuição do tempo de tratamento,

atualmente, o ortodontista pode lançar mão de dispositivos transitórios de ancoragem esquelética (Araújo et al., 2006).

Vários sistemas de ancoragem esquelética foram propostos nos últimos anos (Vilani et al., 2015), sendo os mini-implantes os que apresentaram melhor desempenho em relação aos demais (Kanomi, 1997).

2.1 Características dos Mini-Implantes

Está disponível no mercado nacional e internacional, uma série de mini-implantes com diferentes formatos, medidas, graus de pureza de titânio e tratamentos de superfície, que variam de acordo com a marca comercial. Porém a constituição dos mini-implantes pode ser dividida em três partes distintas: A) cabeça, B) perfil transmucoso e C) ponta ativa (Bezerra et al., 2004; Nascimento et al., 2006) e isso não se altera.

São, em sua grande maioria, fabricados com uma liga de titânio grau V (Ti-6Al-4V) o que possibilita uma grande resistência à fratura e menor propensão a osseointegração, permitindo que, ao final do tratamento, possa ser removido com maior facilidade (Araújo et al., 2006; Elias et al., 2012; Singh et al., 2012).

O mini-implante pode ser auto-rosqueante ou auto-perfurante. O primeiro, devido ao poder de corte presente, após a perfuração da mucosa gengival e cortical óssea com uma fresa, cria seu caminho de entrada no osso. O segundo, por não necessitar de fresagem óssea, tem o processo operatório mais simples e rápido (Araújo et al., 2006). Acredita-se que os auto-perfurantes apresentam maior estabilidade primária e oferecem maior resistência à aplicação de carga ortodôntica imediata (Park et al; 2004; Kim et al., 2005).

Quanto as medidas, alguns autores afirmaram que, o diâmetro do mini-implante é diretamente proporcional à sua estabilidade mecânica primária (Park et al., 2006; Elias et al., 2011) e ainda que o comprimento do mini- implante

também deve ser levado em consideração, pois quanto maior a porção intraóssea, maiores são as chances de sucesso (Vilella, Rothier, 2009).

Araújo et al. (2006) afirmaram que a escolha do diâmetro e comprimento dependerá da avaliação individualizada do caso a ser tratado, norteados-se pela disponibilidade óssea presente, densidade óssea no local da instalação, estabilidade primária alcançada, demanda ortodôntica e preservação da integridade das estruturas anatômicas.

Scardua (2011) sugeriu que, desde que exista disponibilidade óssea, como em espaços edêntulos do rebordo alveolar ou em raízes com bom afastamento, deve-se optar por parafusos de maior diâmetro na mandíbula.

Diversas vantagens comprovando a eficiência do sistema de ancoragem com o auxílio dos mini-implantes ortodônticos são observadas, entre elas: apresentam tamanho reduzido permitindo aplicação em diversos sítios, por exemplo entre raízes vizinhas, além de serem carregados quase imediatamente após a colocação; custos acessíveis; grande aceitação por parte dos pacientes; ao contrário dos implantes protéticos, não necessita de tempo de latência para osseointegração, o que facilita sua remoção (Park et al., 2006; Poggio, 2006; Chaverri et al., 2016).

O uso desse dispositivo de ancoragem oferece ao ortodontista uma enorme quantidade de aplicações clínicas e a possibilidade de realizar tratamentos em um curto período de tempo (Chaverri et al., 2016). Porém, alguns cuidados especiais são necessários para a excelência do tratamento, tais como: controle correto da técnica, aplicação clínica adequada, uso de forças ortodônticas apropriadas, boa densidade óssea e controle da inflamação nos tecidos moles adjacente (Costa et al., 1998).

2.2 Aplicações Clínicas dos Mini-implantes

A efetividade da utilização de mini-implantes como ancoragem ortodôntica é amplamente relatada na literatura.

Araújo et al. (2006) sugeriram variados tipos de movimentação dentária com auxílio dos mini-implantes, entre eles: retração em massa, mesialização de dentes posteriores, intrusão de incisivos e dentes posteriores, correção do plano oclusal, distalização de molares, verticalização e desimpactação de molares, tracionamento de dentes inclusos, correção de mordida cruzada posterior e correção de linha média.

Zucoloto e Carvalho (2008) propuseram a utilização dos mini-implantes em intrusão de molares e dentes anteriores, verticalização e mesialização de molares.

Araújo et al. (2008) descreveram e demonstraram, clinicamente, as diversas possibilidades de utilização dos mini-implantes como recurso de ancoragem para o movimento de intrusão. Afirmaram que mecânica intrusiva convencional, apesar de viável, é complexa, no que diz respeito ao controle de seus efeitos colaterais e concluem que os mini-implantes, por oferecerem efetiva ancoragem esquelética, têm se mostrado de extrema valia, tornando a intrusão, tanto de dentes anteriores quanto posteriores, um procedimento cada vez mais simples, do ponto de vista mecânico.

Marassi e Marassi (2008) descreveram os principais aspectos do uso dos mini-implantes como auxiliares da fase de retração anterior, trazendo considerações, entre outras, sobre suas indicações, quantidade de movimentação dos dentes anteriores, os vetores de força de retração, o posicionamento dos dispositivos e a força a ser utilizada. Concluíram que os mini-implantes podem contribuir de modo significativo com a fase de retração anterior e quando bem empregados, podem tornar os tratamentos mais previsíveis e mais eficientes do que com os métodos tradicionais de ancoragem.

Garcia et al. (2013) apresentaram um caso clínico de distalização de dentes posteriores na mandíbula, com ancoragem em mini-implante ortodôntico, visando recuperar espaço e posicionar o canino que estava fora do arco dentário em posição vestibularizada e concluíram efetividade na ancoragem absoluta para distalização de molares, alcançando um resultado estável e com menos efeitos colaterais que o uso de ortodontia convencional.

2.3 Mesialização de molares inferiores

A mesialização dos molares é considerada um movimento de corpo e é melhor conduzida quando as raízes encontram-se verticalizadas. Deste modo, antes de se iniciar a mesialização, a verticalização dos molares é necessária (Janson et al., 2001; Janson, 2008b).

Janson e Silva (2008) relataram sucesso em um caso clínico de um paciente com 25 anos de idade, gênero feminino com as seguintes características: má oclusão Classe I, apinhamento inferior, ausência do primeiro molar superior esquerdo e presença de incisivos laterais superiores conóides, onde o planejamento consistiu, entre outros, de fechamento do espaço edêntulo com mini-implante.

Franco et al. (2016), em estudo no qual mesializaram primeiro e terceiro molares superiores e terceiro molar inferior, concluíram que o emprego de mini-implantes na mecânica ortodôntica de mesialização de molares se mostrou uma técnica eficiente e de fácil condução.

Muller et al. (2017) afirmaram que o uso do mini-implante ortodôntico mostrou-se uma alternativa viável para a realização do movimento de mesialização dos molares, pois possibilita que a movimentação seja realizada com aplicação de força no centro de resistência do dente, o que provoca um movimento de corpo, sem inclinações, e também permite ao ortodontista a

independência da colaboração do paciente tornando o tratamento mais previsível e livre de movimentos indesejados (Muller et al., 2017).

Alguns fatores são de extrema importância na tomada de decisão para o fechamento de espaços através de mesialização com mini-implantes, entre eles estão: a espessura do rebordo alveolar, aplicação da força, seleção dos sítios de inserção dos mini-implantes e qualidade da gengiva nos dentes que serão movimentados.

Segundo Melsen (1991), a movimentação do dente para áreas de perda óssea ou onde a forma do rebordo alveolar é mais estreita é possível, desde que um sistema de forças adequado seja planejado.

De acordo com Scardua (2011), não existem critérios definidos na literatura quanto à espessura mínima do rebordo para possibilitar a movimentação dentária, mas evidências clínicas sugerem que é possível a movimentação em rebordos atróficos, ocorrendo remodelação do espaço referente ao molar perdido.

Considerando a aplicação da força necessária para a movimentação ortodôntica, foram propostas cargas entre 150cN e 200 cN, mantidas durante todo o movimento de verticalização e mesialização dos molares inferiores (di Matteo et al., 2005; Consolaro, Romano, 2014).

Segundo Smith (1979), forças aplicadas em implante, não resultam em um processo de reabsorção e aposição óssea como o que ocorre em dentes naturais, mas sim de estabilidade. As forças aparentemente são dissipadas, sem causarem uma resposta celular.

O local de inserção do mini implante é fator importante e está diretamente relacionado ao sucesso do tratamento. A espessura do osso cortical e a densidade óssea trabecular devem ser consideradas (Liu et al., 2012; Consolaro, Romano, 2014).

Segundo Melsen e Verna (1990), os locais que oferecem melhores condições para instalação do mini-implante na maxila são: a espinha nasal

anterior, a crista infra- zigomática e o palato. Sendo que a sutura palatina mediana, formada por osso cortical mais denso, pode ser considerada o melhor local para instalação desse dispositivo de ancoragem temporária na maxila. Na mandíbula, os melhores locais são: na região retromolar, no processo alveolar vestibular e na sínfise (Melsen, Verna, 1990).

No que diz respeito a qualidade gengival, Janson e Silva (2008) afirmaram que, o mais seguro é constatar a presença de, pelo menos, 2 mm de gengiva ceratinizada na vestibular da raiz mesial do molar a ser movimentado.

2.4 Análise por Elementos Finitos

O conhecimento da ciência mecânica aplicada aos sistemas biológicos, ou seja, da biomecânica, é importante para o sucesso do tratamento ortodôntico (Scardua, 2011).

O estudo do efeito das cargas aplicadas ao dentes apresenta grande interesse científico e inúmeras metodologias (Lee, 1965; Fortin, 1971; Caputo et al., 1974; Burstone, Pryputniewicz, 1980), dentre as principais utilizadas, pode-se destacar: métodos convencionais para a análise de tensões na estrutura dentária, como modelos fotoelásticos e estudos com laser holográficos; modelos matemáticos analíticos; análises experimentais em humanos e/ou animais e análises matemáticas como o Método de Elementos Finitos (MEF) (Lotti et al., 2006).

Por meio do MEF qualquer material ou estrutura dento-maxilo-facial pode ser modelada e os esforços analisados. Nas especialidades odontológicas, encontramos uma de suas principais vantagens que consiste no fato de poder controlar qualquer variável relacionada a um experimento, facilitando a análise dos resultados, proporcionando grandes benefícios às pesquisas científicas (Brito et al., 2017).

Segundo Brito et al. (2017), a análise de elementos finitos é uma ferramenta de extrema valia para o entendimento biomecânico, porém não substitui a realização de estudos laboratoriais e clínicos para fundamentar uma teoria científica, visto que os resultados dos elementos finitos são teóricos e devem ser extrapolados para a clínica diária com cautela.

3 PROPOSIÇÃO

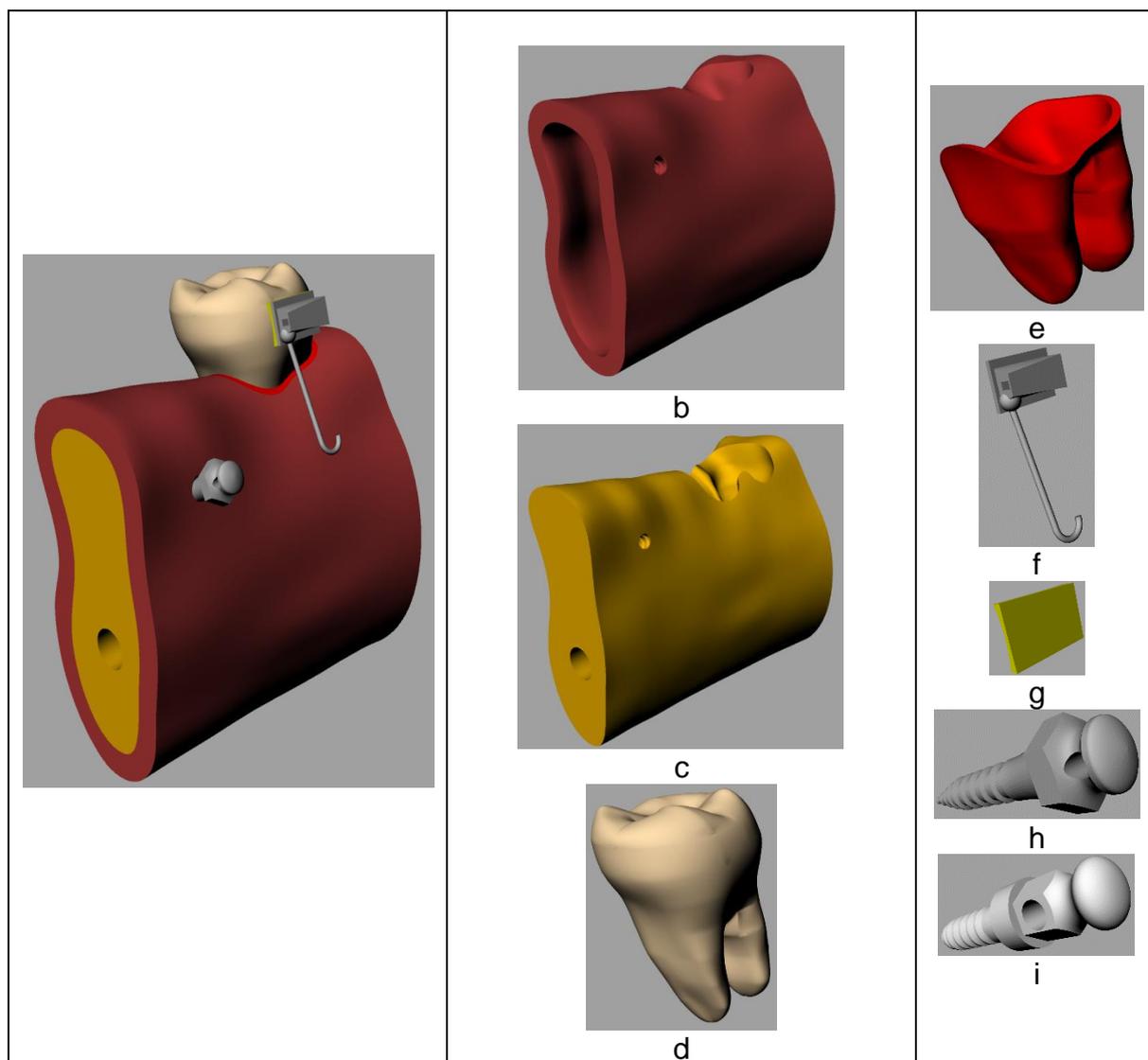
O objetivo deste trabalho foi analisar a distribuição de tensões em modelo simulado, principalmente no tecido ósseo, na mesialização de molar inferior com a utilização de diferentes tipos de mini-implantes ortodônticos como ancoragem, através da metodologia dos elementos finitos tridimensionais por meio da análise de mapas de deslocamento e tensão máxima principal.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para esse estudo foi confeccionado um modelo tridimensional de elementos finitos, contendo um bloco simulado da região posterior mandibular esquerda, um segundo molar verticalizado, um tubo ortodôntico prescrição Roth Simple com gancho (REF 20.11.222 - Morelli Ortodontia Sorocaba- Brasil) adicionado a um braço de força, e um mini-implante auto-perfurante de 7 mm de comprimento, perfil transmucoso de 1mm e diâmetro de 1,6 mm (Mini parafuso ortodôntico para ancoragem absoluta - Straumann/Neodent – Curitiba PR Brasil) para a primeira simulação e também um mini-implante auto-rosqueante de 5 mm de comprimento e diâmetro de 1,5 mm (Mini parafuso ortodôntico para ancoragem absoluta- Titanium Fix – São José dos Campos SP Brasil) para a segunda simulação, sempre colocados em situação horizontal, mesialmente ao dente molar a 10 mm de distância. (Figura 1)

O bloco ósseo foi obtido por recomposição de uma tomografia computadorizada realizada pelo software Invesalius (CTI, São Paulo, Brasil) à semelhança de estudos anteriores (Verri et al., 2016). A simulação do osso trabecular foi feita por offset de superfície externa do bloco ósseo. Assim, o osso cortical possuiu uma espessura de 2 mm e englobou o osso trabecular, simulando osso tipo II.

Figura 1- Modelagem



Legenda: a) modelo geral; b) osso cortical; c) osso trabecular; d) dente; e) ligamento periodontal; f) tubo ortodôntico; g) cimento; h) mini- implante Neodent; i) mini- implante TitaniumFix.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que o movimento dentário de corpo fosse efetivo, o ponto de aplicação da força foi posicionado próximo do centro de resistência do molar, localizado aproximadamente 1mm apicalmente a furca (Janson, Silva, 2008).

Os mini-implantes foram instalados o mais próximo possível do plano oclusal para diminuir o vetor intrusivo na mesial do molar e, conseqüentemente, sua inclinação. Os mini-implantes, com as medidas selecionadas para o estudo, foram desenhados a partir de fotografia de seu perfil em alta resolução e modelado por ferramenta de revolução no software Rhinoceros 3D, seguindo metodologia de simplificação de estudos prévios (Verri et al., 2016). O desenho do tubo ortodôntico foi simulado de forma similar ao mini-implante.

O desenho do dente natural foi realizado pelo desenho do perfil de um dente natural molar extraído, fotografado em todas as suas faces, e medido com paquímetro digital para orientação das medidas do desenho. Simplificações foram realizadas para facilitar o cálculo computacional.

A geração do modelo de elementos finitos foi realizada no software Ansys 17.0 (Ansys, Inc., Canonsburg, PA, USA). As malhas foram geradas por técnica de “malhas adaptativas”, com elementos parabólicos sólidos, sendo refinadas nas regiões de interesse (ligamento periodontal e contato com osso cortical, mini-implante e contatos com ossos trabecular e cortical). Os modelos tiveram números de elementos de 235161 (com implante Neodent) e 224505 (com implante TitaniumFix). A figura 2 ilustra as malhas das estruturas envolvidas neste estudo.

Figura 2- Malhas de elementos finitos

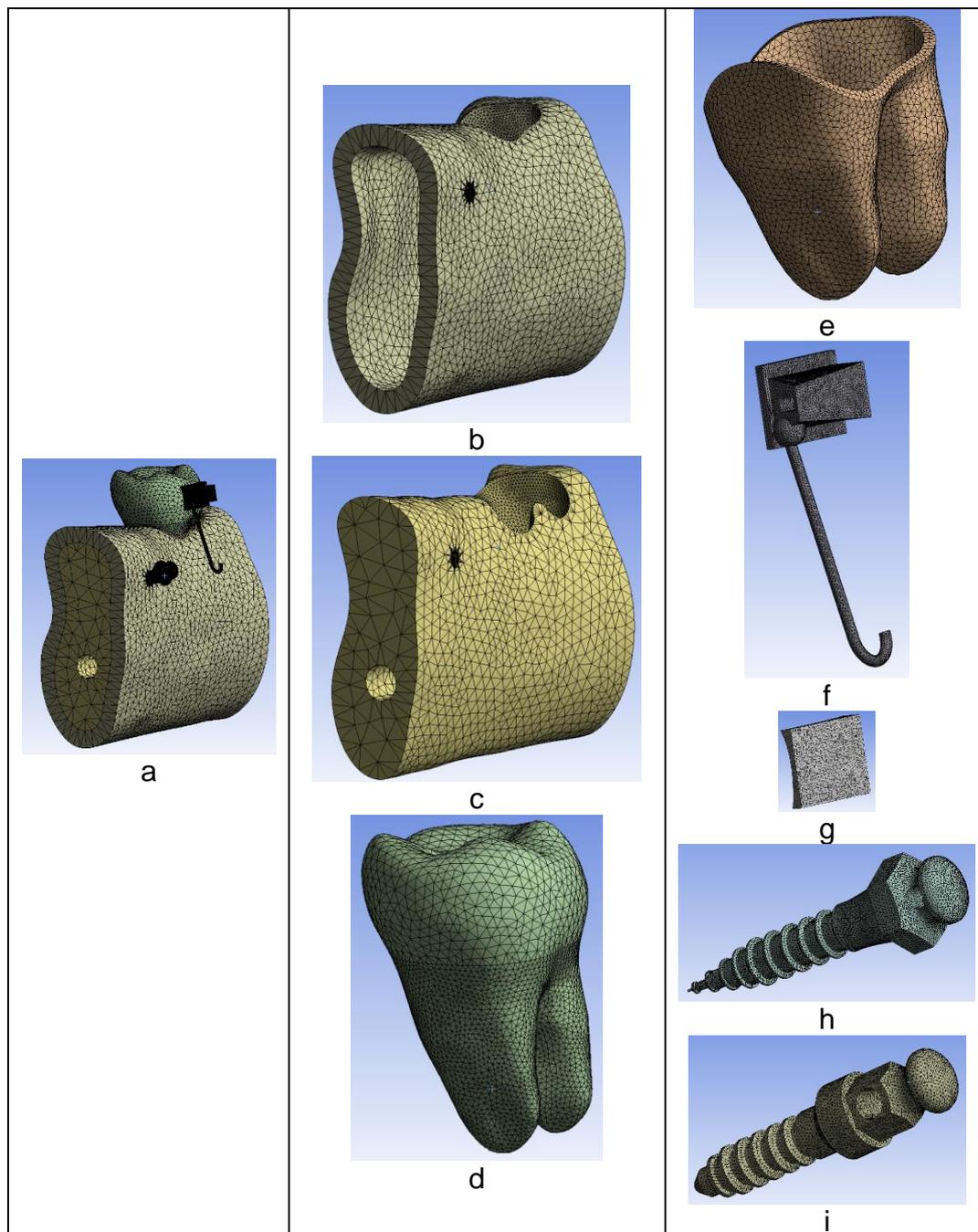


Figura 2 – a) modelo geral; b) osso cortical; c) osso trabecular; d) dente; e) ligamento periodontal; f) tubo ortodôntico; g) cimento; h) mini-implante Neodent; i) mini-implante TitaniumFix.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Os materiais utilizados no estudo foram obtidos de dados da literatura e encontram-se na tabela I. Todos foram simulados de forma homogênea, isotrópica e com comportamento linear.

Tabela I – Propriedades mecânicas dos materiais envolvidos no estudo

Material	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson
Osso cortical*	13700	0,3
Osso trabecular*	1370	0,3
Dente**	20000	0,3
Ligamento Periodontal*	0,69	0,45
Dispositivo ortodôntico**	210000	0,3
Cimento*	7000	0,3
Miniimplante**	110000	0,3

Fonte: *Verri et al., 2017; **Ludwig et al., 2013.

As cargas aplicadas foram de 200 cN, aplicadas em par ação-reação no implante e na alça do dispositivo ortodôntico, para simular um elástico ortodôntico em função. O modelo foi fixado nas bases laterais, nas superfícies dos ossos cortical e trabecular, nas direções x, y e z, não permitindo deslocamento do mesmo mas com possibilidade de sofrer ação das forças internas simuladas.

5 RESULTADOS

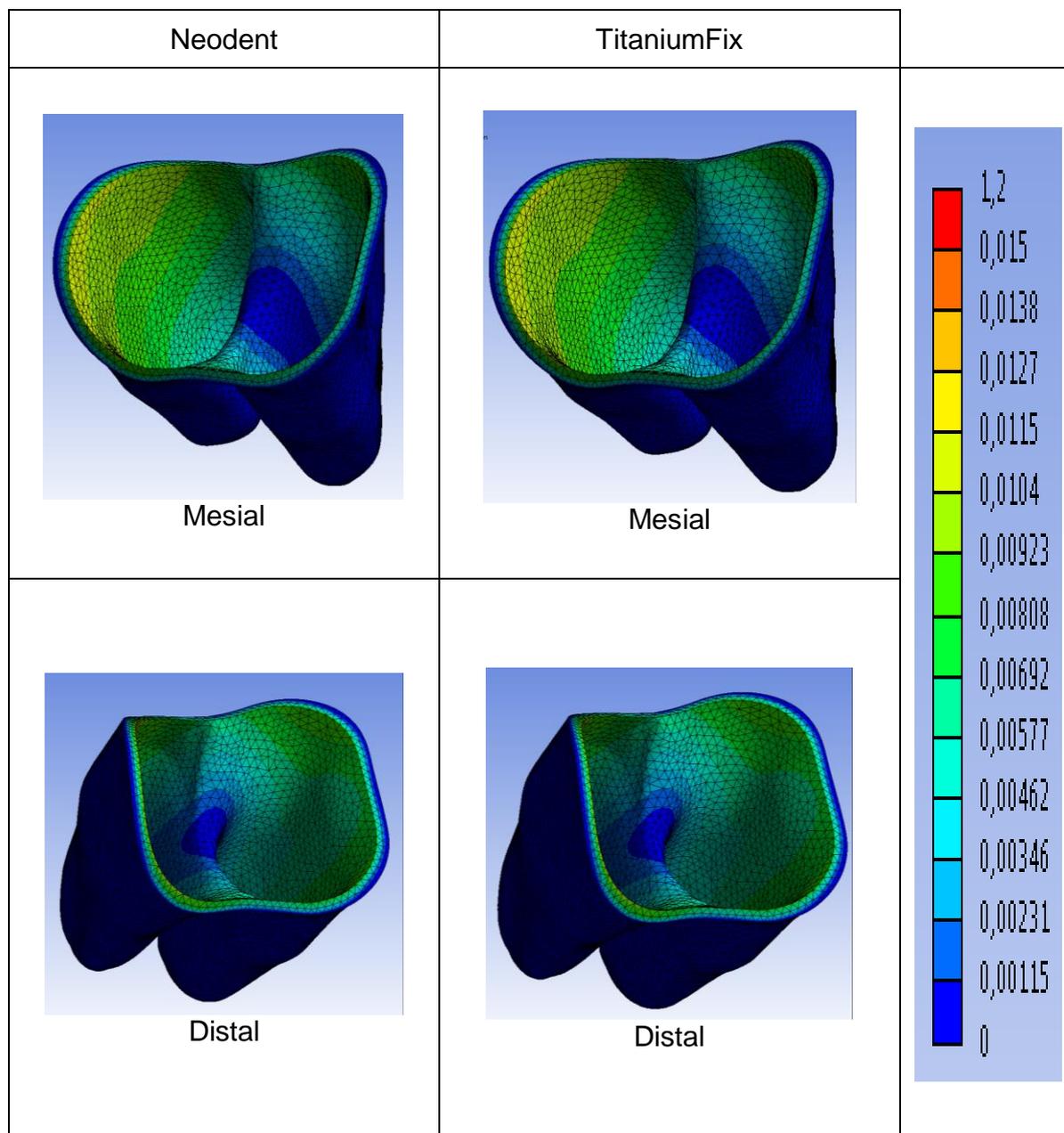
Para visualização dos resultados foram plotados mapas de deslocamento e de tensão máxima principal.

5.1 Análise dos mapas de deslocamento

Os mapas de deslocamento indicam a teórica movimentação das estruturas analisadas, com unidades em mm. Os deslocamentos máximos foram de 1,2 mm aproximadamente para ambos os modelos, sempre com maior tendência de movimentação na alça do dispositivo ortodôntico na região de aplicação da força. Na região da ancoragem do mini-implante os valores de deslocamento foram próximos de 0,001mm em ambos os modelos. Pela importância, o ligamento periodontal foi individualizado para análise qualitativa (Figura 3).

Na individualização do ligamento periodontal foi possível observar que, como esperado, os mapas são bastante similares, independentemente do implante utilizado, tendo uma tendência um pouco maior à movimentação para a região mesial (área amarela dos mapas) por ser a direção da aplicação da força.

Figura 3 – Mapas de deslocamento do ligamento periodontal (unidades em mm)



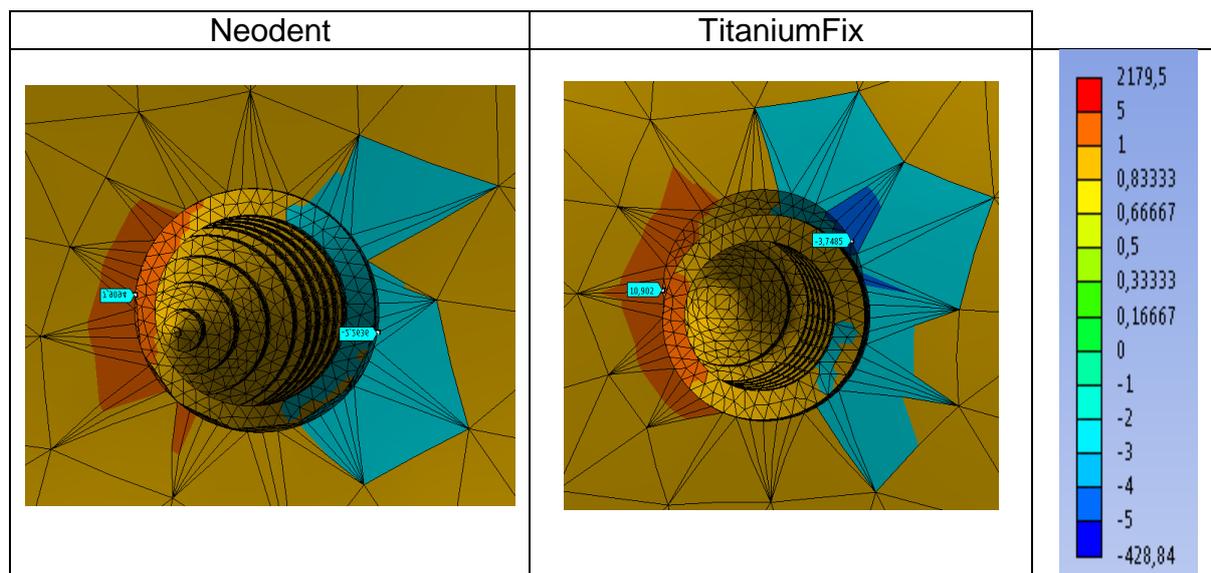
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Análise dos mapas de tensão máxima principal

A tensão máxima principal mostra qualitativamente áreas propensas a compressão (valores negativos) e áreas propensas a tração (valores positivos). As áreas de interesse que foram individualizadas são a área de contato do implante no tecido ósseo, o ligamento, e o osso cortical da lâmina dura.

Na área de contato do implante no tecido ósseo foi possível observar valores máximos próximos de 11 MPa e -3,7 MPa para tração e compressão respectivamente no modelo com implante TitaniumFix, e 7,9 MPa e -2,3 MPa, no modelo com implante Neodent. (Figura 4)

Figura 4 – Mapas de tensão máxima principal do osso cortical e trabecular na região de contato com o mini- implante (unidades em MPa)

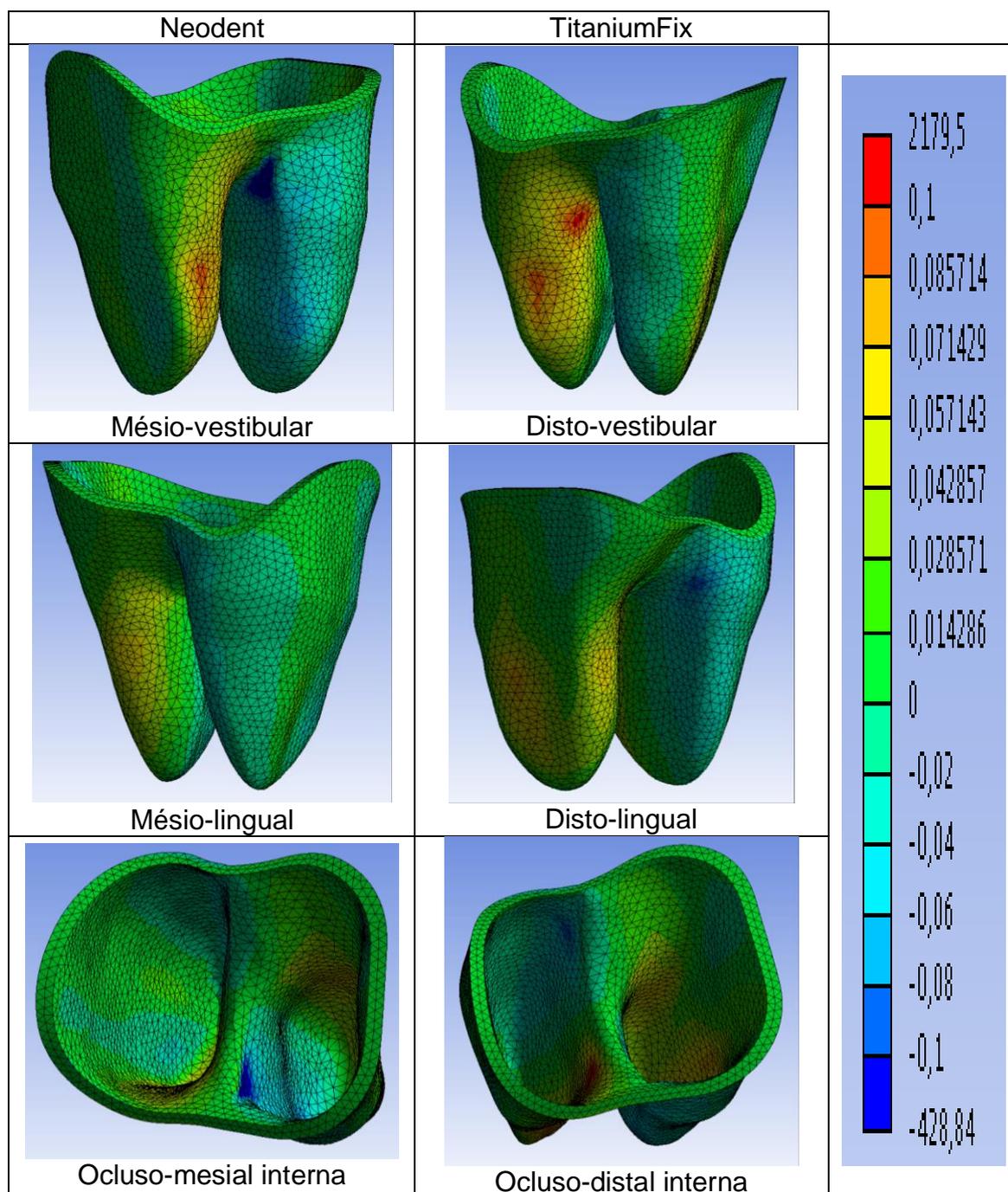


Fonte: Elaborado pelo autor.

O ligamento periodontal apresentou valores baixos de tensão máxima principal, com visualização de áreas de compressão e de tração com escala entre valores de 0,1 a -0,1 MPa. (Figura 5)

Ambos os modelos apresentaram mapas similares e, portanto, apenas um modelo (com mini-implante TitaniumFix) foi ilustrado para apresentação dos resultados. Mesmo com valores baixos, foi possível observar uma tendência de compressão na região mésio-vestibular da raiz distal, próximo à área de furca, e também na região disto-lingual da raiz mesial, também próximo à área de furca. Em contrapartida, nas áreas disto-vestibular da raiz mesial apresentou área de tração. Internamente, as áreas de tração e compressão foram as mesmas, indicando uma tendência de giro no sentido horário do dente que recebeu a força ortodôntica.

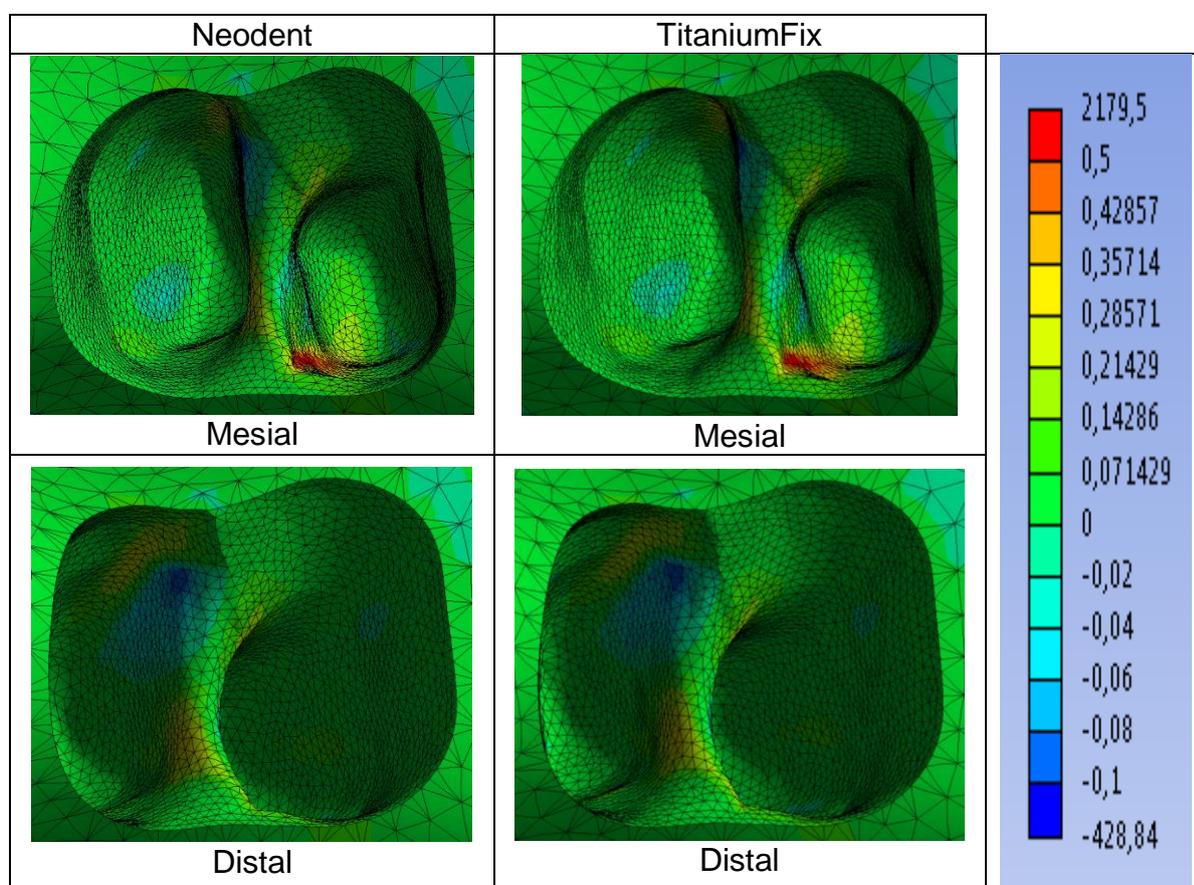
Figura 5 – Mapas de tensão máxima principal do ligamento periodontal em diversas vistas (unidades em MPa)



Fonte: Elaborado pelo autor

No osso cortical foi possível observar que a transmissão de estresse foi bastante baixa. (Figura 6) Porém, algumas áreas específicas da imagem da figura 6 devem ser destacadas. Como se observa, os mapas foram muito similares, e ambos com uma região de compressão ligeiramente mais acentuada próxima à região disto lingual da raiz mesial, próxima à furca, além de uma área de tração mais acentuada próxima à região mesio-vestibular da raiz distal, indicando um momento de força que, assim como visto no ligamento, tende a um giro do molar no sentido horário.

Figura 6- Mapas de tensão máxima principal do osso cortical em diversas vistas (unidades em MPa)



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 DISCUSSÃO

Nos últimos anos, houve um expressivo aumento da procura de pacientes adultos por tratamento ortodôntico, não somente para correções estéticas, mas também em busca de reabilitação da oclusão e mastigação satisfatória. Nesse contexto, observa-se frequentemente a perda do primeiro molar inferior, com consequente movimentação natural da coroa do segundo molar (di Matteo et al., 2005; Jason, Silva, 2008; Scardua, 2011).

Alguns trabalhos mostraram que a mesialização ortodôntica de molares inferiores é uma mecânica que, quando utilizada com cautela, atentando-se às limitações e individualidade de cada caso, reabilita o conteúdo dos espaços edêntulos, trazendo benefícios ao paciente (Janson, Silva, 2008; Franco et al., 2016; Muller et al., 2017), fato que corrobora com os resultados deste trabalho, uma vez que a força aplicada mostrou uma tendência à movimentação do elemento dentário.

Uma grande limitação da mecânica ortodôntica é, como sugere a terceira lei de Newton, que para cada ação existe uma reação. Ou seja, o movimento executado para um dente ou grupo de dentes causará reciprocidade de movimento no dente que está sendo usado para ancorar o sistema de forças.

Os mini-implantes têm-se mostrado efetivos como método de ancoragem em ortodontia, sendo possível ampliar as possibilidades de tratamento, além de tornar mais fáceis os casos antes considerados complexos para a ortodontia com métodos tradicionais de ancoragem (Araújo et al., 2006; Josgrilbert et al., 2008), o que também está de acordo com os achados deste estudo, onde os mini-implantes estudados se mostraram efetivos na ancoragem para a mesialização do molar inferior.

Nesse estudo, a escolha da região vestibular distal ao segundo pré molar para instalação dos mini- implantes foi feita levando em consideração trabalhos que enfatizam a importância da presença de gengiva inserida e quantidade de osso cortical adequada (Josgrilbert et al., 2008). Por se tratar de mesialização de molares, a localização ideal para os mini-implantes é na distal do segundo pré-molar (espaço edêntulo) ou entre as raízes dos pré- molares (Scardua, 2011), preferencialmente instalados o mais próximo possível do plano oclusal, pois assim diminui-se o vetor intrusivo na mesial do molar e, conseqüentemente, sua inclinação (Janson, Silva, 2008).

A localização do centro de resistência de um dente varia de acordo com o comprimento e a morfologia radicular, com o número de raízes e com o nível do osso alveolar de suporte (Scardua, 2011). Levando em consideração que nos molares, o centro de resistência está localizado a aproximadamente 1mm apicalmente à furca (Janson, Silva, 2008), foi incorporado um braço de força ao tubo ortodôntico para que a carga fosse então aplicada o mais próximo possível ao centro de resistência do molar, otimizando o movimento dentário de translação com paralelismo radicular.

Tomando- se por base que os limites fisiológicos para o osso cortical, encontram-se em torno de 140 a 170 MPa para tensão de compressão e 72 a 76 MPa para tensão de tração (Papavalisiou et al., 1996), observou-se que a escolha da área de instalação bem como as medidas dos mini-implantes foram adequadas para o propósito deste estudo, pois os valores de tensão e compressão ósseos encontrados ao redor dos mini-implantes foram baixos, 11 Mpa com implante Titanium fix e 7,9 Mpa com implante Neodent para tensão de tração e -3,7 Mpa com implante Titanium fix e -2,3 Mpa com implante Neodent para tensão de compressão, sugerindo portanto, que os dispositivos utilizados não apresentaram tendência à reabsorção.

A força aplicada de 200 cN foi escolhida com base em estudos anteriores (di Matteo et al., 2005; Scardua, 2011; Consolaro, Romano, 2014) e gerou áreas de tensão de compressão e de tensão de tração ao redor da raiz dentária, que levando para uma situação clínica, pode-se acreditar que estas áreas indicam locais onde ocorrerão remodelação óssea, pressupondo uma tendência ao movimento dentário para mesial.

A força ótima para a movimentação dentária ortodôntica deve estimular a atividade celular sem ocluir completamente os vasos sanguíneos, sendo a resposta do ligamento periodontal determinada não somente pela força, mas também pela distribuição da pressão produzida pela força aplicada por unidade de área radicular (Araújo et al., 2006).

Houve uma tendência maior de movimentação na região mesio- vestibular da raiz distal, sugerindo o giro do molar no sentido horário, como ilustrado nas figuras 5 e 6. Esse efeito indesejado era esperado e pode ser evitado na prática clínica com uso de arco lingual e barra palatina associados (Scardua, 2011) ou com a instalação de mini-implante também por lingual (Janson, Silva, 2008).

O estudo das cargas e movimentos através da análise dos elementos finitos é de grande importância (Brito et al., 2017), porém, existe a necessidade de estudos biomecânicos que investiguem a quantidade e a eficiência da movimentação em diferentes situações, bem como a interferência das condições metabólicas e fatores sistêmicos, como por exemplo doenças que afetam o metabolismo ósseo e diabetes, no processo de movimentação dentária, revisando a literatura específica (Gimenez et al., 2007).

Existem poucos relatos na literatura a respeito do movimento de mesialização de molares, o que demonstra o quanto essa mecânica é pouco empregada na realidade odontológica. A falta de conhecimento acerca da técnica e a dificuldade de se encontrar embasamento científico devem colaborar sobremaneira para que especialistas descartarem essa opção de tratamento. Esse

estudo vislumbra colaborar para que esse quadro se altere. Mais trabalhos são necessários a fim de que essa mecânica seja definitivamente incorporada a rotina odontológica

7 CONCLUSÃO

Dentro da metodologia proposta, podemos concluir:

-A carga testada é eficaz, a distribuição de tensão no tecido ósseo mostra uma tendência de que ocorra o deslocamento dentário no sentido mesial;

-A distribuição de tensão ao redor dos mini-implantes mostra que as características dos dispositivos utilizados estão de acordo para promoverem uma ancoragem efetiva para o movimento estudado.

REFERÊNCIAS*

Araújo TM, Nascimento MHA, Bezerra F, Sobral MC. Ancoragem esquelética em Ortodontia com mini- implantes. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial*. 2006 Jul/Ago;11(4):126-56.

Araújo TM, Nascimento MHA, Franco FCM, Bittencourt MAVR. Intrusão dentária utilizando mini-implantes. *Dental Press Ortodon Ortop Facial*. 2008 Set/Out;13(5):36-48.

Bezerra F, Villela H, laboissière júnior M, Diaz L. Ancoragem absoluta utilizando microparafusos ortodônticos de titânio. Planejamento e protocolo cirúrgico (Trilogia – Parte I). *Implant News*. 2004 Nov/Dez;1(6):469-75.

Brito JVC, Garcia DC, Crispim SS, Matos JDV, Figueiredo VMG. Aplicação de elementos finitos na odontologia: uma revisão de literatura. *Rev Bahiana Odonto*. 2017 Set;8(3):77-80.
doi:10.17267/22382720revbahianaodonto.v8i3.1116.

Burstone CJ, Pryputniewicz RJ. Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. *Am J Orthod*. 1980 Apr;77(4):396-409. PubMed PMID: 6928741.

Caputo AA, Chaconas SJ, Hayashi RK. Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. *Am J Orthod*. 1974 Mar;65(3):250-9. PubMed PMID: 4521359.

Chatzigianni A, Keilig L, Duschner H, Götz H, Eliades T, Bourauel C. Comparative analysis of numerical and experimental data of orthodontic mini-implants. *Eur J Orthod*. 2011 Oct;33(5):468-75. doi: 10.1093/ejo/cjr097. Epub 2011 Aug 17. PubMed PMID: 21852288.

Chaverri SB, Lopez PC, Valverde MC. Miniscrews a new alternative in the treatment of Orthodontics. *Odontología Vital* 2016 Dec;(25):63-75.

Consolaro A, Romano FL. Reasons for mini-implants failure: choosing installation site should be valued! *Dental Press J Orthod*. 2014 Mar-Apr;19(2):18-24. PubMed PMID: 24945511; PubMed Central PMCID: PMC4296612.

* Baseado em: International Committee of Medical Journal Editors Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical journals: Sample References [Internet]. Bethesda: US NLM; c2003 [atualizado 04 nov 2015; acesso em 25 jun 2017]. U.S. National Library of Medicine; [about 6 p.]. Disponível em: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*. 1998;13(3):201-9. PubMed PMID: 9835819.

Crismani AG, Bertl MH, Celar AG, Bantleon HP, Burstone CJ. Miniscrews in orthodontic treatment: review and analysis of published clinical trials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 Jan;137(1):108-13. doi: 10.1016/j.ajodo.2008.01.027. Review. PubMed PMID: 20122438.

di Matteo RC, Villa N, Sendyck WR. Movimentação de molares inferiores ancorados em mini-parafusos. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial*. 2005 Jul/Ago;10(4):124-33.

Drago CJ. Use of osseointegrated implants in adult orthodontic treatment: a clinical report. *J Prosthet Dent*. 1999 Nov;82(5):504-9. PubMed PMID: 10559718.

Elias CN, Ruellas ACO, Fernandes DJ. Orthodontic implants: concepts for the orthodontic practitioner. *Int J Dent*. 2012;2012:549761. doi: 10.1155/2012/549761. Epub 2012 Nov 11. PubMed PMID: 23209470.

Elias CN, Ruellas ACO, Marins EC. Resistência mecânica e aplicações clínicas de mini-implantes ortodônticos. *Rev Bras Odontol*. 2011Jan/Jun;68(1):95-100.

Fortin JM. Translation of premolars in the dog by controlling the moment-to-force ratio on the crown. *Am J Orthod*. 1971 Jun;59(6):541-51. PubMed PMID: 5280422.

Franco JES, Cruz CM, Crepaldi MV, Freitas DS, Modesto DF. Mesialização de molares com o uso de mini-implante. *Revista Faipe*. 2016 Jul/Dez;6(2):43-9.

Garcia RR, Moreira RWF, Paiva LGJ, Estrela CB, Garcia GR. Ancoragem com mini-implante para distalização de molares inferiores. *Rev Odontol Bras Central*. 2013;21(60):2-5.

Garib DG, Yatabe MS, Ozawa TO, Silva Filho OG. Morfologia alveolar sob a perspectiva da tomografia computadorizada: definindo os limites biológicos para a movimentação dentária. *Dental Press J Orthod*. 2010 Sept-Oct;15(5):192-205.

Gimenez CMM, Murad L, Meireles BR, Arantes FM, Junqueira JLC, Santos ECA. Alterações sistêmicas relacionadas com a movimentação dentária induzida. *RGO*. 2007 Abr/Jun;55(2):191-5.

Janson M. Ortodontia em adultos e tratamento interdisciplinar. Maringá: Dental Press Editora; 2008a.

Janson M. Verticalização de molares. In: Janson M. Ortodontia em adultos e tratamento interdisciplinar. Maringá: Dental Press, 2008b. p. 129-67.

Janson M, Silva DAF. Mesialização de molares com ancoragem em mini-implantes. R Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2008 Set/Out;13(5):88-94.

Janson MRP, Janson RRP, Martins, PF. Tratamento interdisciplinar I: considerações clínicas e biológicas na verticalização de molares. Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2001;6(3):87-104.

Josgrilbert LFV, Henriques JFC, Henriques RP, Tirloni P, Kayatt FE, Godoy HT. Utilização dos mini-implantes na mecânica ortodôntica contemporânea. Rev Clín Ortodon Dental Press. 2008Ago/Set;7(4):76-90.

Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. J Clin Orthod. 1997;31(11):763-7.

Kim JW, Ahn SJ, Chang YI. Histomorphometric and mechanical analyses of the drill-free screw as orthodontic anchorage. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2005 Aug;128(2):190-4. PubMed PMID: 16102403.

Knox J, Jones ML, Hubsch P, Middleton J, Kralj B. An evaluation of the stresses generated in a bonded orthodontic attachment by three different load cases using the Finite Element Method of stress analysis. J Orthod. 2000 Mar;27(1):39-46. PubMed PMID: 10790443.

Lee BW. Relationship between tooth-movement rate and estimated pressure applied. J Dent Res. 1965 Sep-Oct;44(5):1053. PubMed PMID: 5213010.

Lima LAC, Lima C, Lima V, Lima V. Mini-implante como ancoragem absoluta: ampliando os conceitos de mecânica ortodôntica. Innov Implant J Biomater Esthet. 2010 Jan/Abr;5(1):85-91.

Liu TC, Chang CH, Wong TY, Liu JK. Finite element analysis of miniscrew implants used for orthodontic anchorage. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2012 Apr;141(4):468-76. doi: 10.1016/j.ajodo.2011.11.012. PubMed PMID: 22464529.

Lotti RS, Machado AW, Mazzeiro ET, Landre Júnior, J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial. 2006;11(2):35-43.

- Marassi C, Marassi C. Mini-implantes ortodômicos como auxiliares da fase de retração anterior. *Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial*. 2008 Set/Out;13(5):57-75.
- Melsen B. *Current controversies in Orthodontics*. Chicago: Quintessence, 1991.
- Melsen B, Verna C. A rotational approach to orthodontic anchorage. *Progress in Orthodontic anchorage*. *Progress in Orthodontics*. 1990;1:10-22.
- Müller C, Cruz CM, Crepaldi MV, Dainesi EA, Souza JEP. Mesialização de molares com auxílio de mini parafuso. *Rev Faipe*. 2017Ago;6(2):50-60.
- Namiuchi Junior OK, Herdy JL, Flório FM, Motta RHL. Use of mini screw in the orthodontic treatment. *Rev Gaúcha Odontol*. 2013 Jul/Dez;61(suppl):453-60.
- Nascimento MHA, Araújo TM, Bezerra F. Microparafuso ortodômico: instalação e protocolo de higiene periimplantar. *Rev Clin Ortodon Dental Press*. 2006 Fev/Mar;5(1):24-43.
- Papavasiliou G, Kamposiora P, Bayne SC, Felton DA. Three-dimensional finite element analysis of stress-distribution around single tooth implants as a function of bony support, prosthesis type, and loading during function. *J Prosthet Dent*. 1996 Dec;76(6):633-40. PubMed PMID: 8957790.
- Park HS, Jeong SH, Kwon OW. Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006 Jul;130(1):18-25. PubMed PMID: 16849067.
- Park HS, Kwon OW, Sung JH. Micro-implant anchorage for forced eruption of impacted canines. *J Clin Orthod*. 2004 May;38(5):297-302. PubMed PMID: 15178885.
- Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *Angle Orthod*. 2006 Mar;76(2):191-7. PubMed PMID: 16539541.
- Scardua MT. Protocol to protract lower molars with mini-implants. *Rev Clín Ortodon Dental Press*. 2011 Ago/Set;10(4):95-106.
- Singh S, Mogra S, Shetty VS, Shetty S, Philip P. Three-dimensional finite element analysis of strength, stability, and stress distribution in orthodontic anchorage: a conical, self-drilling miniscrew implant system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012 Mar;141(3):327-36. doi: 10.1016/j.ajodo.2011.07.022. PubMed PMID: 22381493.

Smith JR. Bone dynamics associated with the controlled loading of bioglass-coated aluminum oxide endosteal implants. *Am J Orthod*. 1979 Dec;76(6):618-36. PubMed PMID: 117716.

Sung JH, Kyung HM, Bae SM, Park HS, Know OW, McNamara Jr JA. *Mini-implantes*. Nova Odessa: Napoleão; 2007.

Verri FR, Cruz RS, de Souza Batista VE, Almeida DA, Verri AC, Lemos CA, et al. Can the modeling for simplification of a dental implant surface affect the accuracy of 3D finite element analysis? *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2016 Nov;19(15):1665-72. doi: 10.1080/10255842.2016.1176156. Epub 2016 Apr 15. PubMed PMID: 27082041

Vilani GNL, Ruellas ACO, Elias CN, Mattos CT. Estabilidade de mini-implantes lisos e porosos: avaliação clínica e biomecânica — estudo in vivo. *Dental Press J Orthod*. 2015 Sept-Oct;20(5):35-42.

Vilella OV, Rothier EKC. Ancoragem ortodôntica com mini-implantes: fatores de sucesso. *Rev Bras Odontol*. 2009Jul/Dez;66(2):177-82.

Zucaloto CS, Carvalho AS. Protocolo de miniparafuso. *RGO*. 2008 Abr/Jun;56(2):201-5.