

Instituto Latino Americano de Pesquisa e Ensino Odontológico
Renata Monteiro Cesnik Caires

**Avaliação da distribuição de tensões em diferentes desenhos de
miniplacas: um estudo pelo método dos elementos finitos**

CURITIBA
2016

Renata Monteiro Cesnik Caires

**Avaliação da distribuição de tensões em diferentes desenhos de
miniplacas: um estudo pelo método dos elementos finitos**

Monografia apresentada a Faculdade
Ilapeo como parte dos requisitos para
obtenção do título de Especialista em
Ortodontia

Orientador: Prof. Dr. Roberto Hideo
Shimizu

CURITIBA
2016

Renata Monteiro Cesnik Caires

Avaliação da distribuição de tensões em diferentes desenhos de miniplacas: um estudo pelo método dos elementos finitos

Presidente da banca (Orientador): Prof. Dr. Roberto Hideo Shimizu

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Ana Cláudia Moreira Melo

Prof^a Dra. Ricarda Duarte da Silva

Aprovada em: 02/08/2016

Dedicatória

Dedico a conclusão deste trabalho ao meu marido, ao meu pai, minha mãe, que me ajudaram a concluir o curso e me incentivaram durante estes anos de estudo e muito trabalho. Também dedico a minha filha Júlia, que é o meu maior motivo para buscar meus objetivos.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus.

Ao meu marido, que esteve ao meu lado nestes anos de estudo, tendo paciência e me incentivando a estudar e continuar. Ele, que diversas vezes deixou de trabalhar para cuidar de nossa filha para que eu pudesse estudar e concluir este trabalho. Me deu força, amor e segurança nos momentos de preocupação.

Ao meu pai, que me ajudou a concluir o curso, e desde sempre me incentivou a estudar, confiando no meu desempenho. Ele que é o exemplo de pessoa e profissional que sigo em minha vida.

Aos meus mestres, os quais se esforçaram durante todo o curso, estando sempre dispostos a ensinar, com paciência e sabedoria.

Ao meu orientador, que me ensinou não somente as disciplinas de ortodontia ou a conclusão do trabalho, mas a ser uma boa profissional, com disposição para o trabalho.

Ao engenheiro Rafael Salatti, o qual sempre foi solícito, disposto e empenhado na execução deste estudo.

Aos meus colegas de turma, pela amizade construída, experiências compartilhadas e companheirismo em todos os momentos destes anos de estudo.

Sumário

Listas

Resumo

1. Introdução	10
2. Revisão de Literatura	12
3. Proposição	25
4. Materiais e Métodos	26
5. Artigo Científico	29
6. Referências	48
7. Anexo.....	51

Lista de figuras

1. Figura 1: Modelos tridimensionais das miniplacas estudadas separadas por tipos.....23
2. Figura 2: Modelo tridimensional da miniplaca do grupo A1, evidenciando a malha tetraédrica e a região de fixação dos parafusos de fixação e tachinha pre-fixação, em amarelo.....24
3. Figura 3: Demonstração das linhas de ação de força aplicadas: vertical (01), horizontal (02) e diagonal(03).....25

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

N - Newton

MEF- método dos elementos finitos

MPa- Megapascal

CAD- *computer-aided design*

mm- milímetros

Resumo

No presente estudo, foi proposto, novos desenhos de miniplacas ortodônticas, as quais foram avaliadas, por meio do método dos elementos finitos, no que se refere a distribuição de tensões após aplicação de forças sobre elas. Foram projetados seis modelos tridimensionais de miniplacas, nas formas de T, Y, e I com extremidades de gancho invertido e dois botões. Aplicou-se forças de 1N, 2N, e 3N nas direções vertical, horizontal e diagonal. O carregamento foi realizado e observou-se que as miniplacas em forma de “T” foram as que demonstraram maior acúmulo de tensão localizada na região do pescoço do dispositivo. As miniplacas em forma de “Y” demonstraram região de acúmulo de tensão na região do pescoço do acessório somente quando se aplicou força horizontal de 3N e as miniplacas em forma de “I” demonstraram boa distribuição de tensões em todas as magnitudes e direções de força aplicadas. Ainda se observou diferente distribuição de forças quando se alterou a extremidade de ativação. De modo geral as miniplacas demonstraram boa distribuição de tensões, sendo uma boa opção de ancoragem esquelética em tratamentos ortodônticos.

Palavras-chave: Ortodontia, Aparelhos ortodônticos, Placas ósseas, Procedimentos de ancoragem ortodôntica e Miniplaca.

Abstract

In the present study, new designs of orthodontic miniplates were proposed, which were evaluated by finite element method, with regard to the distribution of stress after application of forces on them. Six three-dimensional models of miniplates were designed, in the forms of T, Y, and I with inverted hook ends and two buttons. Forces of 1N, 2N, and 3N were applied in vertical, horizontal and diagonal directions. Charging was performed and it was observed that the T-shaped miniplates were the ones that showed greater tension accumulation located in the region of the neck of the device. The "Y" shaped miniplates showed a region of tension accumulation in the neck region of the accessory only when 3N horizontal force was applied and the "I" miniplates showed good voltage distribution in all magnitudes and directions of force Applied. A different distribution of forces was still observed when the activation end was changed. In general, the miniplates showed a good distribution of tensions, being a good option of skeletal anchorage in orthodontic treatments.

Key words: Orthodontic, Orthodontic appliances, Orthodontic anchorage procedures, Miniplate, Bone plate.

1. Introdução

A ancoragem é um fator fundamental para o sucesso do tratamento ortodôntico.¹⁷ A ancoragem do tipo dento-suportada é uma das maiores limitações na ortodontia moderna, pois os dentes movimentam em resposta as forças aplicadas.³ Além disso, os métodos de ancoragem convencionais muitas vezes, dependem da colaboração do paciente, podendo resultar em movimentações dentárias recíprocas indesejadas.⁵ Para resolver este problema, foi desenvolvida a ancoragem esquelética temporária, como um auxiliar na ancoragem dentária.³ Implantes dentários, miniplacas e mini-implantes são excelentes dispositivos utilizados como alternativa na ancoragem esquelética ortodôntica.²⁵ Uma das primeiras publicações que demonstraram a possibilidade da ancoragem esquelética foi realizada por Creekmore and Eklund em 1983³ os quais instalaram um implante na região da espinha nasal para realizar a intrusão dos incisivos superiores.

Os mini-implantes ainda são o tipo de ancoragem esquelética mais utilizada em tratamentos ortodônticos devido ao baixo custo, tamanho pequeno, facilidade de instalação e remoção, e possibilidade de serem implantados em diversas regiões da cavidade oral.² No entanto, há uma importante desvantagem neste tipo de ancoragem, que é a proximidade com as raízes, as quais podem ser comprometidas durante a instalação dos mini-implantes ou quando os dentes adjacentes são deslocados.⁹ Ainda podem restringir a movimentação dentária em casos ortodônticos mais complexos.^{2,5} Em 2011, Lee et al¹⁶, relataram casos em que houve perda precoce dos mini-implantes, os quais foram substituídos por miniplacas e concluíram que foi uma excelente alternativa para dar continuidade as mecânicas ortodônticas sem prolongar o tempo de tratamento.

Um dos primeiros relatos relacionados ao uso de miniplacas como ancoragem esquelética, foram realizados por Umemori et al²⁸ os quais utilizaram miniplacas na intrusão dos molares na mandíbula e Jenner e Fitzpatrick¹³ que descreveram o uso de miniplacas para distalização de molares inferiores. A mais significativa vantagem do uso das miniplacas como ancoragem esquelética, é a possibilidade de movimentação tridimensional dos molares, incluindo os movimentos de distalização, intrusão, protração, extrusão e movimentos linguais.^{1, 9, 22, 23, 24,28} Em uma revisão sistemática realizada por Shatzle et al²¹ sobre ancoragem esquelética, quando comparados os tipos de sistema de ancoragem esquelética, as miniplacas oferecem maior estabilidade que os mini-implantes, tendo como média de taxa de sucesso de 93,7%, quando os mini-implantes apresentam 84,6%.²¹ Entretanto, as miniplacas tem a desvantagem de precisarem de acesso cirúrgico para serem instaladas.^{4,19} Além disso, pacientes relatam dificuldade de higienizar a haste transmucosa, o que pode levar a inflamação na região e consequente perda do acessório.^{1,19, 25}

Em vista disso, estudos têm sido realizados em busca da elaboração de modelos de miniplacas mais estáveis, confortáveis e resistentes às forças aplicadas durante o tratamento ortodôntico.^{5, 6, 31} No presente estudo, foi apresentado novos desenhos de miniplacas ortodônticas com bordas arredondadas, alterando o meio de fixação, o desenho das hastes e das extremidades de ativação com a intenção de facilitar a instalação e o uso de dispositivos ortodônticos auxiliares (corrente elástica, molas NiTi e elásticos), favorecer a cicatrização, e dessa forma, diminuir a incidência de inflamações e infecções. Desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar o comportamento mecânico, especificamente as áreas de tensões, desses novos modelos de miniplacas, utilizando-se o Método dos Elementos Finitos (MEF) ^{1,7}

2. Revisão de Literatura

Umemori et al. (1999) introduziram o sistema de ancoragem esquelética para correção de dois casos severos de mordida aberta, por meio da intrusão dos molares. Foram instaladas miniplacas na face vestibular no osso cortical da mandíbula bilateralmente. A região de fixação foi entre primeiro e segundo molar. Foram utilizados elásticos para a ativação da intrusão, a qual se efetivou em média 5 meses após o início das ativações. Após 18 meses as miniplacas foram removidas. Obteve-se intrusão de 3 a 5 milímetros e a mordida aberta foi significativamente corrigida com o auxílio de leve extrusão dos incisivos. O sistema foi considerado efetivo, já que não houve sérios efeitos colaterais e simplificou a mecânica de tratamentos para os dois casos.

De Clerck et al. (2002) introduziram o sistema de ancoragem zigomática, o qual foi desenvolvido para ser utilizados de forma segura, instalando-se os parafusos distantes das raízes dos dentes, na região da crista zigomática, região de osso sólido. Forças ortodônticas podem ser aplicadas imediatamente após a instalação dos dispositivos. Foram instaladas miniplacas em vinte e sete pacientes, dezesseis unilateralmente e onze bilateralmente para a retração dos caninos superiores. O procedimento cirúrgico foi bem tolerado pelos pacientes, apesar do edema ocorrido nos primeiros dias após a cirurgia e alguns casos de inflamação. Concluiu-se que o sistema de ancoragem zigomática é uma boa alternativa em relação à ancoragem extra-bucal convencional.

Sugawara e Nishimura (2004) relataram o caso clínico de um paciente com 19 anos de idade, com má oclusão de Classe III de Angle, apinhamento anterior, mordida aberta anterior e dificuldade de mastigação. Utilizaram miniplacas como mecanismo de ancoragem durante o tratamento. Tido como um caso cirúrgico, e não sendo possível

realizá-la, optaram pelo tratamento que restabelecesse somente a função mastigatória, o qual consistiu na intrusão e distalização de molares superiores e inferiores. Aplicou-se 400g de força em cada segmento, ancorando nas miniplacas. Obteve-se distalização de 3,0 mm e 6,0mm dos molares superiores, esquerdo e direito, respectivamente, e 3,0mm dos molares inferiores, bilateralmente. Após um ano e nove meses, o aparelho foi removido assim como as miniplacas e estabeleceram uma oclusão favorável, com intercuspidação, suporte posterior estável e guias anteriores. Concluiu-se que o sistema de ancoragem esquelética com miniplacas é uma biomecânica efetiva para pacientes adultos, casos de retratamento e pacientes com problemas ortodônticos complexos.

Choi et al. (2005) investigaram as complicações após a implantação das miniplacas de ancoragem esquelética e avaliaram a estabilidade das mesmas quando se aplica forças durante o tratamento ortodôntico. Participaram do estudo, pacientes que necessitavam de distalização dos molares para correção de mordida cruzada anterior ou apinhamento. Aplicou-se força de 200 a 400g para realizar a retração dos primeiros pré-molares. Houve inflamação e mobilidade de 5 miniplacas, as quais foram removidas, resultando em uma taxa de insucesso de 7%. Concluiu-se que as miniplacas tem relativa alta taxa de insucesso, principalmente quando instaladas na mandíbula. É necessário que se realizem estudos com novos desenhos de miniplacas para diminuir as complicações.

Cornelis et al. (2008) descreveram a técnica cirúrgica de instalação e remoção das miniplacas de ancoragem ortodôntica temporária e registraram a percepção do cirurgião sobre a técnica. Foram instaladas 200 miniplacas de 2 modelos diferentes (maxilar e mandibular) em um total de 97 pacientes. Os procedimentos foram realizados por 9 diferentes cirurgiões. Todas as miniplacas foram feitas de titânio. Após a instalação, os pacientes foram orientados a higienizar o acessório ao menos 3 vezes ao dia além de utilizarem bochechos de clorexidina durante 7 dias após o procedimento

cirúrgico. O percentual de sucesso foi de 92,5%. Quinze miniplacas precisaram ser removidas prematuramente, sendo que onze delas, estavam instaladas em pacientes em crescimento. A maior parte das cirurgias foram realizadas sob anestesia local e em todas elas, foi prescrito antibiótico e anti-inflamatório pós-cirúrgico. Das cirurgias de instalação, 80% foram consideradas de fácil a moderada, sendo que na remoção, os cirurgiões consideraram mais fácil e rápido do que a instalação. Concluiu-se que tanto para instalação quanto para remoção, é necessário a elevação de retalho, porém são considerados procedimentos simples, sendo uma técnica segura e efetiva para um tratamento ortodôntico.

Veziroglu et al. (2008) avaliaram a distribuição de forças sobre um novo desenho de miniplaca, por meio do MEF, com o propósito de diminuir as complicações ao utiliza-las como ancoragem ortodôntica. Foi projetado um modelo tridimensional da região posterior da maxila, incluindo o zigomático. Simulou-se a instalação dos novos modelos de miniplacas, aplicando-se 200g de força. Avaliou-se biomecanicamente, o osso, a miniplaca e os parafusos de fixação. Em todos os modelos de miniplacas, as maior tensão foi observada no osso, na região onde foram inseridos os parafusos de fixação. Mesmo alterando os modelos de miniplaca, não se observou melhora na distribuição das tensões sobre a miniplaca. É necessário que se realizem estudos com novos desenhos de miniplacas que se alterem a extremidade de ativação para se homogenize a distribuição das forças.

Kim et al. (2008) compararam a ancoragem dentosuportada com a ancoragem com miniplacas no fechamento de espaço de pré-molares extraídos em cachorros adultos da raça Beagle. Foram extraídos quatro pré-molares e realizada a retração utilizando-se, de um lado a ancoragem convencional (lado controle), e do outro lado (lado experimental) uma miniplaca em forma de L com dois parafusos de fixação. As

miniplacas obtiveram altas taxas de sucesso, 93,8% durante os doze meses de tratamento ortodôntico. No grupo controle, o deslizamento dos dentes de ancoragem representaram um terço do fechamento de espaço (com perda de ancoragem de 31,1%), já no experimental, as miniplacas tiveram movimentação mínima (com perda de ancoragem de 4,5%), tendo o fechamento realizado quase que totalmente pela retração anterior. Estes resultados confirmam que as miniplacas podem fornecer ancoragem praticamente absoluta.

Cornelis et al. (2008) documentaram a percepção de pacientes e ortodontistas sobre o uso de miniplacas no tratamento ortodôntico e, avaliaram o sucesso do sistema, identificando eventos adversos e resultados associados ao uso destes acessórios na prática clínica. Questionários sobre desconforto e percepções gerais, foram apresentados a 97 pacientes e respondidos nos intervalos de um mês, seis meses e um ano após a instalação dos dispositivos. Os trinta ortodontistas que trabalharam nos casos, responderam questionários relacionados à complexidade de instalação, finalidade do dispositivo utilizado, índice de sucesso e se os dispositivos facilitaram ou complicaram o tratamento. As miniplacas receberam aplicação de força ortodôntica, em média, um mês após a instalação. No geral, os dispositivos foram bem tolerados pelos pacientes e tiveram taxa de sucesso de 92,5%. Após um ano de tratamento, 72% dos pacientes da amostra relataram não se incomodar com as miniplacas, 17% relataram que a limitação da abertura da boca diminuiu no período de 6 meses a um ano e 15% dos pacientes sentiram dificuldade na higienização dos dispositivos. Em relação à percepção dos ortodontistas, as falhas apresentadas foram mobilidade, ulceração da bochecha, fratura, posicionamento inadequado da miniplaca e falta de colaboração do paciente. A principal reação adversa foi edema, que persistiu por até 5 dias. Os autores concluíram que as miniplacas são bem aceitas tanto pelos pacientes quanto pelos operadores e oferecem

alto índice de segurança e sucesso (92,5%), com poucos efeitos colaterais. Alguns casos classificados como moderados a muito difíceis, foram tidos como fáceis após a instalação das miniplacas e os ortodontistas afirmaram que usariam as miniplacas novamente.

De Clerck et al. (2009) introduziram um tipo de tratamento da Classe III utilizando miniplacas para a protração da maxila, tendo a possibilidade de aplicar forças ortopédicas ossosuportadas entre maxila e mandíbula durante vinte e quatro horas por dia, evitando efeitos dentoalveolares. Três pacientes do sexo feminino com Classe III severa, foram tratadas exclusivamente com tração reversa da maxila, por meio da instalação de miniplacas na maxila (na crista zigomática bilateralmente) e mandíbula (entre caninos e incisivos laterais ou entre primeiros pré-molares e caninos). Aplicou-se em 100g inicialmente e 200g após dois meses em média. A mordida cruzada anterior foi corrigida em todos os casos e houve uma considerável melhora no perfil dos pacientes. Não foram observados efeitos dentoalveolares. Os autores concluíram que aplicando forças ortopédicas em uma ancoragem puramente esquelética e utilizando elásticos intermaxilares entre as miniplacas, pode-se ter o aumento da face média de pacientes em crescimento com deficiência maxilar e que novos estudos se fazem necessários para avaliar os efeitos psicossociais, entender os biomecanismos e avaliar a possibilidade da diminuição de cirurgias ortognáticas.

Tseng et al. (2010) avaliaram a percepção de dor, por meio da escala visual analógica (0-100 mm), viabilizando sugestões práticas para melhorar a comunicação com os pacientes. Foram instaladas 30 miniplacas no total. No primeiro dia após a cirurgia, a média da escala foi de 36,3 mm, aumentando para 58mm vinte e quatro horas após a inserção das miniplacas. Após três meses de tratamento, as médias da escala foram diminuindo gradualmente, para 20 mm ao comer e 15 mm ao falar, tendo um

aumento para 41,33 mm, vinte e quatro horas após a remoção do dispositivo e uma diminuição para 5 milímetros três meses após a remoção. As miniplacas foram utilizadas com sucesso como ancoragem esquelética e os pacientes puderam tolerar a dor e o desconforto durante o tratamento ortodôntico.

Huang et al. (2012) realizaram um estudo que avaliou a tensão gerada ao osso associada a diferentes sistemas de miniplaca. Utilizou-se o método dos elementos finitos para a análise levando-se em consideração os tipos de miniplaca, meios de fixação, largura do parafuso, magnitude e direção de forças aplicadas a fim de entender as variações na ancoragem ortodôntica. Foi construído um modelo tridimensional de um bloco de osso integrado com a miniplaca, o qual possuía osso cortical e trabecular de dimensões definidas. Foram estudados três modelos de miniplaca: em forma de “L”, “T”, “Y” e “I”, utilizando de dois a três parafusos de fixação. Aplicou-se três magnitudes e duas direções de força. As análises demonstraram que o pico de tensão no osso foi concentrado abaixo do primeiro parafuso e o maior pico ocorreu na miniplaca em forma de “I”, seguido das formas de “L”, “Y” e “T”. No geral ao adicionar o terceiro parafuso de fixação no centro da placa a tensão no osso diminuiu. O aumento da magnitude de força gerou o aumento linear da tensão no osso, sendo maior na direção horizontal. Com base nas análises, concluiu-se que a tensão no osso diminuiu quando utilizadas placas com braços de alavanca menor, as em forma de “T” e “Y” e quando aumentou-se o número de parafusos de fixação. O pico de tensão aumentou de acordo com o aumento da magnitude de força aplicada e a largura do parafuso de fixação não influenciou nos resultados.

Heymann et al. (2011) realizaram uma análise tridimensional da protração maxilar com elásticos intermaxilares e miniplacas. Foram incluídos na amostra, seis pacientes com má oclusão de Classe III com deficiência de maxila. Instalou-se quatro

miniplacas em cada paciente, sendo duas superiores bilaterais (posicionadas na crista zigomática) e duas inferiores bilaterais (posicionadas entre incisivo lateral e canino). Iniciou-se o tratamento aplicando forças, por meio do uso de elásticos intermaxilares, nas direções para frente e para baixo de 150g, aumentando para 200g após um mês e 250g após dois meses. Para criar os modelos tridimensionais, foram realizadas tomografias computadorizadas *cone-beam* imediatamente após a instalação das miniplacas e após um ano de tratamento, assim determinando as alterações anatômicas ocorridas durante o tratamento. Todos os pacientes demonstraram movimento positivo da região do processo zigomático, e todos, exceto um deles, demonstraram alteração positiva na região anterior da maxila, obtendo *overjet* positivo em todos os casos após um ano de tratamento. Os autores concluíram que o uso de elásticos intermaxilares e miniplacas melhora o relacionamento maxilo-mandibular de pacientes Classe III com mínimos efeitos dentoalveolares. Os modelos tridimensionais permitem uma documentação mais completa sobre o resultado do paciente.

De Clerck e Swennen (2011) avaliaram a taxa de sucesso da miniplaca Bollard como ancoragem na protração maxilar em pacientes em crescimento. Foram incluídos vinte e cinco pacientes, os quais apresentavam hipoplasia maxilar e maloclusão de Classe III de Angle. Durante o tratamento, aplicou-se 150g de força a partir do 11º dia pós-cirurgia até completar 12 meses. Não houve infecções, apenas quatro pacientes relataram desconforto na mucosa, obtendo taxa de sucesso de 97%. Todas as falhas ocorreram na maxila e em pacientes mais jovens. O sucesso depende do bom aconselhamento pré-cirúrgico, cirurgia minimamente invasiva e bom acompanhamento ortodôntico. Concluiu-se que a miniplaca estudada foi altamente efetiva como ancoragem na protração maxilar.

Trandem et al. (2011) compararam três marcas comerciais de miniplacas,

determinando qual delas pode receber forças ortopédicas sem que haja deformação permanente. As marcas testadas foram: Syntes, KLS Martin e Stryker. Os três modelos de miniplaca foram parafusados sobre um bloco de aço inoxidável e colocado num torno para realizar os testes, sendo submetidas a forças contínuas de 0 a 100N no sentido vertical, avaliando o limite da deformação plástica. Todas as miniplacas foram capazes de suportar as forças ortopédicas.

Lee et al. (2011), relataram dois casos clínicos em que, por perda precoce de mini-implantes, instalaram miniplacas para dar continuidade ao tratamento. No primeiro caso, decidiram remover o mini-implante, devido à proximidade com o vestíbulo bucal, sendo substituídos por miniplacas do tipo tubo-C. No segundo caso, houve dois fatores que levaram a remoção do mini-implante, a radiolucidez ao redor dispositivo e a pneumatização do seio maxilar, invaginando entre as raízes dos dentes, levando a instalação de miniplacas do tipo tubo-C. Em ambos os casos, os tratamentos foram concluídos com sucesso, sem aumentar o tempo de tratamento e sem alterar a biomecânica de tratamento. Conclui-se que este tipo de miniplaca é uma excelente alternativa na substituição de mini-implantes perdidos para a continuidade de tratamentos ortodônticos.

Chung et al. (2011) avaliaram a utilização da miniplaca do tipo tubo-C (KLS Martin, Umkirch, Alemanha) nos casos em que os mini-implantes não são indicados, demonstrando os diversos princípios de aplicações clínicas. Este tipo de miniplacas foi projetada para utilizar em casos de pacientes com espaços interradiculares reduzidos, pneumatização de seio maxilar, raízes dilaceradas, ou perda óssea alveolar grave. Após anestesia local, 2 incisões horizontais paralelas foram realizadas e a miniplaca do tipo tubo-C foi deslizada sob o retalho e fixada com miniparafusos autoperfurantes. Um pequeno tubo localizado na extremidade da haste pode atuar como um tubo ortodôntico

acomodando arcos ou como um gancho posicionando elásticos ortodônticos. Apesar de utilizarem parafusos de fixação curto, em casos de pacientes com doenças sistêmicas comod diabetes *miellitus* e pacientes fumantes, é recomendado o uso de parafusos mais longos para fornecer maior estabilidade. Como conclusão, afirmaram que este novo tipo de miniplaca ortodôntica pode ser uma alternativa eficaz para casos em que os mini-implantes não são empregados e, como a miniplaca é instalada no osso alveolar próximo às raízes, a utilização de parafusos curtos diminui o risco de contato com as mesmas.

Liu et al. (2012), realizaram um estudo com mini-implantes que investigou a qualidade do osso, as condições de carregamento, o tamanho do parafuso e a profundidade de implantação dos mini-implantes, por meio do método dos elementos finitos. Um modelo tridimensional de bloco de osso integrado com um mini-implante foi construído, simulando a densidade do osso cortical e trabecular, diâmetro e profundidade de instalação do mini-implantes, magnitude e direções das forças aplicadas e seus efeitos. Os picos de tensão aumentaram de acordo com a densidade óssea e se concentraram ao redor do mini-implante no local de inserção no osso. O aumento do pico de estresse foi linearmente proporcional ao aumento da magnitude da força, assim como a direção de força de 90° foi o que gerou maior tensão. Na cortical, houve um aumento do estresse quando o diâmetro do mini-implante foi diminuído. Concluiu-se que a qualidade do osso não é o fator mais importante na estabilidade do mini-implante. Deve-se ter cuidado com o local e orientação de instalação do mini-implante, evitando componentes de força perpendicular ao acessório. Observou-se que tanto o estresse no osso quanto o deslocamento do parafuso diminuíram com o aumento do diâmetro.

Huang et al. (2012) simularam, por meio do método dos elementos finitos, a elaboração de um modelo tridimensional composto por um bloco de osso integrado a

uma miniplaca com fixação por parafusos de titânio. Utilizaram quatro diferentes formas de miniplaca (I, T, Y e L) e três diferentes comprimentos de parafusos de fixação, aplicando-as a diferentes espessuras de cortical óssea e estudando a alteração do número de parafusos. Para determinar o efeito da carga, diferentes magnitudes e direções de aplicação de força foram investigadas. Os valores de *stress* na cortical óssea foram maiores com as placas do tipo I, seguido pelo tipo L, tipo Y e as placas do tipo T. O *stress* no osso diminuiu com aumento do número de parafusos e aumentou com a diminuição da espessura da cortical óssea e mostrou-se diretamente proporcional à magnitude da força aplicada. Forças perpendiculares ao longo eixo da haste da placa e forças oblíquas reduzem o *stress* ósseo, quando comparadas às forças paralelas à haste (0° ou 180°). O comprimento dos parafusos não mostrou ser significativo no *stress* ósseo resultante. Os autores concluíram que ao se utilizar as placas em forma de T e Y, o *stress* no osso diminuiu, assim como com o aumento do número de parafusos de fixação.

Nalbantgil et al. (2012) avaliaram um novo desenho de miniplaca e compararam com o sistema de miniplacas convencional. Utilizaram três diferentes modelos de miniplaca de titânio: uma placa convencional e duas miniplacas com a nova proposta de desenho, com 4 espículas projetadas sobre a superfície voltada para o osso cortical. Uma delas apresentava orifícios para 2 parafusos de fixação e a outra, para 1 parafuso apenas. Foram aplicados 200g de força nas miniplacas e comparado o nível de *stress* no osso, na miniplaca e no parafuso, pelo método de elementos finitos. A análise de escaneamento tridimensional foi executada em modelos de cortical óssea com 1,5 mm de espessura. Os resultados mostraram redução do *stress* na cortical óssea em contato com os parafusos, quando utilizadas as placas modificadas (com espículas), comparadas às placas convencionais, assim como redução de quase a metade do *stress* no parafuso.

Concluiu-se que os novos desenhos de miniplaca são altamente eficientes na diminuição do *stress* na região da fixação dos parafusos e as tensões foram bem distribuídas.

Sugawara (2014) elaborou uma síntese sobre diversos aspectos das miniplacas. Da parte estrutural, geralmente elas têm formato de T, L, Y e I (reta) sendo fixadas por dois ou três parafusos. De acordo com a literatura, possuem altas taxas de sucesso, excelentes propriedades mecânicas e grande estabilidade devido a osseointegração. Podem ser utilizadas para distalização e intrusão de molares, substituindo, muitas vezes o uso do mini-implante. Utilizada para correção de casos complexos, elas podem evitar extrações de pré-molares em na descompensação para casos cirúrgicos além de ter bons resultados quando utilizadas na protração maxilar. Recentemente, as miniplacas possuem maiores vantagens do que desvantagens, e, espera-se que as miniplacas continuem a evoluir e melhorar ao longo do tempo, e que isso resulte em benefícios ainda maiores para nossos pacientes.

Largura et al. (2014) avaliaram, por meio do MEF, a distribuição das tensões sobre o tecido ósseo adjacente ao local de instalação de miniplacas utilizadas como ancoragem. Foi projetado um modelo tridimensional de hemi-mandíbula com dentes a partir de imagens obtidas de tomografia computadorizada. Foi fixada uma miniplaca em forma de “L” com três parafusos de fixação da marca Rahos. As forças aplicadas simularam movimentos de mesialização do segundo molar inferior com 2N, 5N e 15 N; verticalização com 11,77 N.mm (1200 gf.mm) e combinação de força (2N e 5N) e momento (1200 gf.mm). As distribuições de tensão e deformação foram analisadas, bem como suas correlações com os critérios de remodelação óssea e estabilidade das miniplacas. Os resultados mostraram que a deformação máxima ocorreu com uma força de 5 N e reabsorção óssea a uma força de 15 N. Maior tensão foi observada na região da

cortical, a qual mostra relação direta entre a espessura e a estabilidade do parafuso, sendo que a densidade do osso esponjoso apresenta menor interferência. Concluíram que os níveis de estresse são diminuídos quando momentos são inseridos; maior concentração de tensões ocorre em torno do parafuso (cortical) que no osso esponjoso; o sistema de fixação de miniplacas e parafusos pode suportar as forças ortodônticas sem afetar sua estabilidade.

Park et al. (2015) demonstraram como uma mordida aberta com plano palatino inclinado pode ser tratada com a combinação de miniplacas maxilares e mandibulares, em um relato de caso clínico. O paciente de vinte e um anos de idade, possuía mordida aberta anterior m severo apinhamento mandibular e moderado apinhamento maxilar, 7,5mm de *overjet* e 2,5mm de *overbite*. Foi recomendada as extrações dos quatro primeiros pré-molares, porém o paciente não aceitou a proposta, então decidiu-se realizar o tratamento sem extrações, utilizando as miniplacas como ancoragem. Foram instaladas miniplacas em forma de “T”na mandíbula e em forma de “Y” na crista zigomática bilateralmente, realizando intrusão com movimento de corpo dos dentes. Ao final do tratamento, observou-se Classe I de molares e caninos além de *overjet* e *overbite* satisfatórios. A cefalometria confirmou a intrusão posterior e leve extrusão anterior.

Viecilli e Viecilli (2015), publicaram um estudo que esclarece o meio de determinar a linha de ação de força a ser aplicada em cantiléveres ortodônticos. Primeiramente expõem a maneira de encontrar o centro de resistência do dente, possibilitando o cálculo do momento de força a ser gerado. Em seguida, demonstram a elaboração do aparelho. Quando se deseja um momento de força maior, recomenda-se um comprimento de fio mais longo para a confecção do cantiléver. Concluiu-se que o conhecimento da biomecânica, o qual não é orientado por uma técnica específica, é

essencial para prever o movimento de um dente.

3. Proposição

Avaliar, por meio do método dos elementos finitos, a distribuição de tensão sobre novos desenhos de miniplacas ortodônticas, quando aplicadas diferentes magnitudes de força e direções de linha de ação de força.

4. Materiais e Métodos

No presente estudo foram apresentados novos modelos de miniplacas ortodônticas. As alterações envolveram largura e arredondamento das hastes além das extremidades de ativação, as quais foram projetadas de duas formas: a primeira tendo a extremidade com dois ganchos invertidos e a segunda com dois botões. Foram avaliados três diferentes desenhos de miniplaca (NeoOrtho® - Curitiba, Brasil): em forma de I, em forma de T e em forma de Y, as quais foram denominadas de A1 (forma de I com ganchos invertidos), A2 (forma de I com dois botões), B1 (forma de T com ganchos invertidos), B2 (forma de T com dois botões), C1 (forma de Y com ganchos invertidos) e C2 (forma de Y com dois botões), com diferentes comprimentos e configurações (Figura 1). As miniplacas estudadas, são de titânio grau 2, o limite de escoamento do material é de 275 Mpa e o Coeficiente de poisson é 0,361. Suas hastes apresentam 1,2mm de largura e 0,7 mm de espessura.

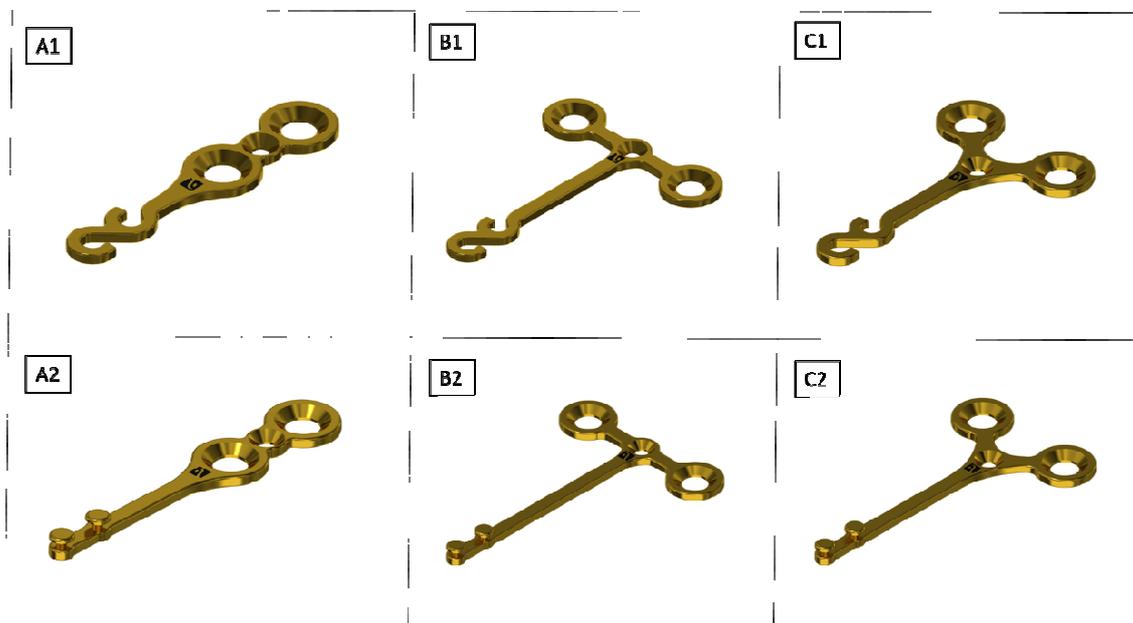


Figura 1: Modelos tridimensionais das miniplacas estudadas separadas por tipos. A1: 20 mm, A2: 23 mm, B1: 20 mm, B2: 19 mm, C1: 19 mm, C2: 23 mm.

Os modelos geométricos das miniplacas foram gerados pelo *computer-aided design* (CAD). Em seguida, conhecendo-se a qualidade do material e dimensões das

miniplacas, foram obtidos modelos tridimensionais com elementos tetraédricos de 10 nós e base triangular (Figura 2) por meio do *software* FEMAP versão 10.2, sendo compatíveis com o método de avaliação por elementos finitos.

Para a realização das análises, simulou-se a fixação das miniplacas, evidenciando as regiões em que seriam instalados os parafusos de fixação e tachinha de pré-fixação (Figura 2).

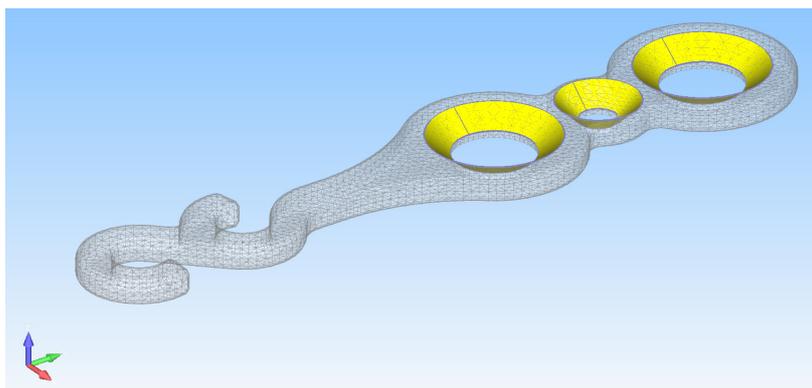


Figura 2: Modelo tridimensional da miniplaca do grupo A1, evidenciando a malha tetraédrica e a região de fixação dos parafusos de fixação e tachinha pré-fixação, em amarelo.

Foram analisadas regiões de tensão nas miniplacas, aplicando-se forças de magnitudes 1N, 2N, 3N, nas direções vertical (seta 01 - vermelha), horizontal (seta 02 - verde) e em diagonal (seta 03 - amarela), simulando as forças ortodônticas para os movimentos de retração, intrusão e protração maxilar conforme a figura 3. Utilizou-se o critério de análise por Von mises.

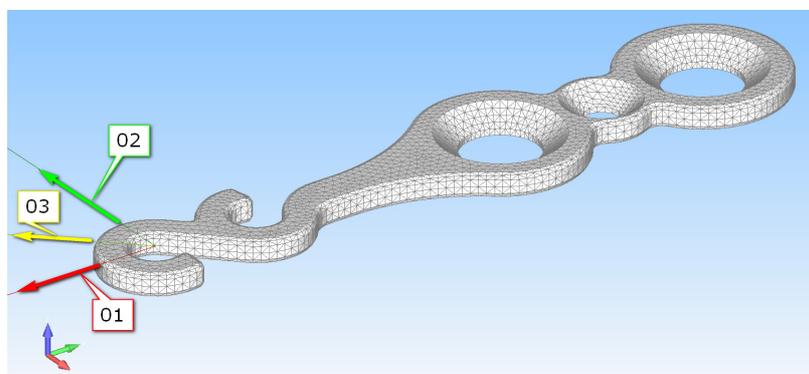


Figura 3: Demonstração das linhas de ação de força aplicadas: vertical (01), horizontal (02) e diagonal (03).

Após a obtenção dos resultados, foi realizada a análise descritiva das distribuições de tensões dos seis desenhos das miniplacas.

5. Artigo Científico

O artigo foi formatado de acordo com as normas da revista *Brasilian Oral Research*

Avaliação da distribuição de tensões em diferentes desenhos de miniplacas: um estudo pelo método dos elementos finitos

Renata Monteiro Cesnik Caires¹, Roberto Hideo Shimizu²,

1 Cursando Especialização em Ortodontia –ILAPEO, Curitiba.

2 Mestre e Doutor em Ortodontia – Faculdade de Odontologia de Araraquara - UNESP.

Contato para correspondência de Renata Monteiro Cesnik Caires:

Endereço: Rua Padre Anchieta, 2204 Sala 5 – Bigorriho

Curitiba, PR. CEP: 80730-000

E-mail: renata_cesnik@yahoo.com.br

Resumo

No presente estudo, foi proposto, novos desenhos de miniplacas ortodônticas, as quais foram avaliadas, por meio do método dos elementos finitos, no que se refere a distribuição de tensões após aplicação de forças sobre elas. Foram projetados seis modelos tridimensionais de miniplacas, nas formas de T, Y, e I com extremidades de gancho invertido e dois botões. Aplicou-se forças de 1N, 2N, e 3N nas direções vertical, horizontal e diagonal. O carregamento foi realizado e observou-se que as miniplacas em forma de “T” foram as que demonstraram maior acúmulo de tensão localizada na região do pescoço do dispositivo. As miniplacas em forma de “Y” demonstraram região de acúmulo de tensão na região do pescoço do acessório somente quando se aplicou força horizontal de 3N e as miniplacas em forma de “I” demonstraram boa distribuição de tensões em todas as magnitudes e direções de força aplicadas. Ainda se observou diferente distribuição de forças quando se alterou a extremidade de ativação. De modo geral as miniplacas demonstraram boa distribuição de tensões, sendo uma boa opção de ancoragem esquelética em tratamentos ortodônticos.

Palavras-chave: ortodontia, aparelhos ortodônticos, placas ósseas, procedimentos de ancoragem ortodôntica e miniplaca.

Abstract

In the present study, new designs of orthodontic miniplates were proposed, which were evaluated by finite element method, with regard to the distribution of stress after application of forces on them. Six three-dimensional models of miniplates were designed, in the forms of T, Y, and I with inverted hook ends and two buttons. Forces of 1N, 2N, and 3N were applied in vertical, horizontal and diagonal directions. Charging was performed and it was observed that the T-shaped miniplates were the ones that showed greater tension accumulation located in the region of the neck of the device. The "Y" shaped miniplates showed a region of tension accumulation in the neck region of the asza2accessory only when 3N horizontal force was applied and the "I" miniplates showed good voltage distribution in all magnitudes and directions of force Applied. A different distribution of forces was still observed when the activation end was changed. In general, the miniplates showed a good distribution of tensions, being a good option of skeletal anchorage in orthodontic treatments.

Key words: orthodontic, orthodontic appliances, orthodontic anchorage procedures, miniplate, bone plate.

Introdução

A ancoragem é um fator fundamental para o sucesso do tratamento ortodôntico.¹⁷ A ancoragem do tipo dento-suportada é uma das maiores limitações na ortodontia moderna, pois os dentes movimentam em resposta as forças aplicadas.³ Além disso, os métodos de ancoragem convencionais muitas vezes, dependem da colaboração do paciente, podendo resultar em movimentações dentárias recíprocas indesejadas.⁵ Para resolver este problema, foi desenvolvida a ancoragem esquelética temporária, como um auxiliar na ancoragem dentária.³ Implantes dentários, miniplacas e mini-implantes são excelentes dispositivos utilizados como alternativa na ancoragem esquelética ortodôntica.²⁵ Uma das primeiras publicações que demonstraram a possibilidade da ancoragem esquelética foi realizada por Creekmore and Eklund em 1983³ os quais instalaram um implante na região da espinha nasal para realizar a intrusão dos incisivos superiores.

Os mini-implantes ainda são o tipo de ancoragem esquelética mais utilizada em tratamentos ortodônticos devido ao baixo custo, tamanho pequeno, facilidade de instalação e remoção, e possibilidade de serem implantados em diversas regiões da cavidade oral.² No entanto, há uma importante desvantagem neste tipo de ancoragem, que é a proximidade com as raízes, as quais podem ser comprometidas durante a instalação dos mini-implantes ou quando os dentes adjacentes são deslocados.⁹ Ainda podem restringir a movimentação dentária em casos ortodônticos mais complexos.^{2,5} Em 2011, Lee et al¹⁶, relataram casos em que houve perda precoce dos mini-implantes, os quais foram substituídos por miniplacas e concluíram que foi uma excelente

alternativa para dar continuidade as mecânicas ortodônticas sem prolongar o tempo de tratamento.

Um dos primeiros relatos relacionados ao uso de miniplacas como ancoragem esquelética, foram realizados por Umemori et al²⁸ os quais utilizaram miniplacas na intrusão dos molares na mandíbula e Jenner e Fitzpatrick¹³ que descreveram o uso de miniplacas para distalização de molares inferiores. A mais significativa vantagem do uso das miniplacas como ancoragem esquelética, é a possibilidade de movimentação tridimensional dos molares, incluindo os movimentos de distalização, intrusão, protração, extrusão e movimentos linguais.^{1, 9, 22, 23, 24,28} Em uma revisão sistemática realizada por Shatzle et al²¹ sobre ancoragem esquelética, quando comparados os tipos de sistema de ancoragem esquelética, as miniplacas oferecem maior estabilidade que os mini-implantes, tendo como média de taxa de sucesso de 93,7%, quando os mini-implantes apresentam 84,6%.²¹ Entretanto, as miniplacas tem a desvantagem de precisarem de acesso cirúrgico para serem instaladas.^{4,19} Além disso, pacientes relatam dificuldade de higienizar a haste transmucosa, o que pode levar a inflamação na região e consequente perda do acessório.^{1,19, 25}

Em vista disso, estudos têm sido realizados em busca da elaboração de modelos de miniplacas mais estáveis, confortáveis e resistentes às forças aplicadas durante o tratamento ortodôntico.^{5, 6, 31} No presente estudo, foi apresentado novos desenhos de miniplacas ortodônticas com bordas arredondadas, alterando o meio de fixação, o desenho das hastes e das extremidades de ativação com a intenção de facilitar a instalação e o uso de dispositivos ortodônticos auxiliares (corrente elástica, molas NiTi e elásticos), favorecer a cicatrização, e dessa forma, diminuir a incidência de inflamações e infecções. Desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar o comportamento

mecânico, especificamente as áreas de tensões, desses novos modelos de miniplacas, utilizando-se o Método dos Elementos Finitos (MEF) ^{1,7}

Materiais e Métodos

No presente estudo foram apresentados novos modelos de miniplacas ortodônticas. As alterações envolveram largura e arredondamento das hastes além das extremidades de ativação, as quais foram projetadas de duas formas: a primeira tendo a extremidade com dois ganchos invertidos e a segunda com dois botões. Foram avaliados três diferentes desenhos de miniplaca (NeoOrtho® - Curitiba, Brasil): em forma de I, em forma de T e em forma de Y, as quais foram denominadas de A1 (forma de I com ganchos invertidos), A2 (forma de I com dois botões), B1 (forma de T com ganchos invertidos), B2 (forma de T com dois botões), C1 (forma de Y com ganchos invertidos) e C2 (forma de Y com dois botões), com diferentes comprimentos e configurações (Figura 1). As miniplacas estudadas, são de titânio grau 2, o limite de escoamento do material é de 275 Mpa e o Coeficiente de poisson é 0,361. Suas hastes apresentam 1,2mm de largura e 0,7mm de espessura.

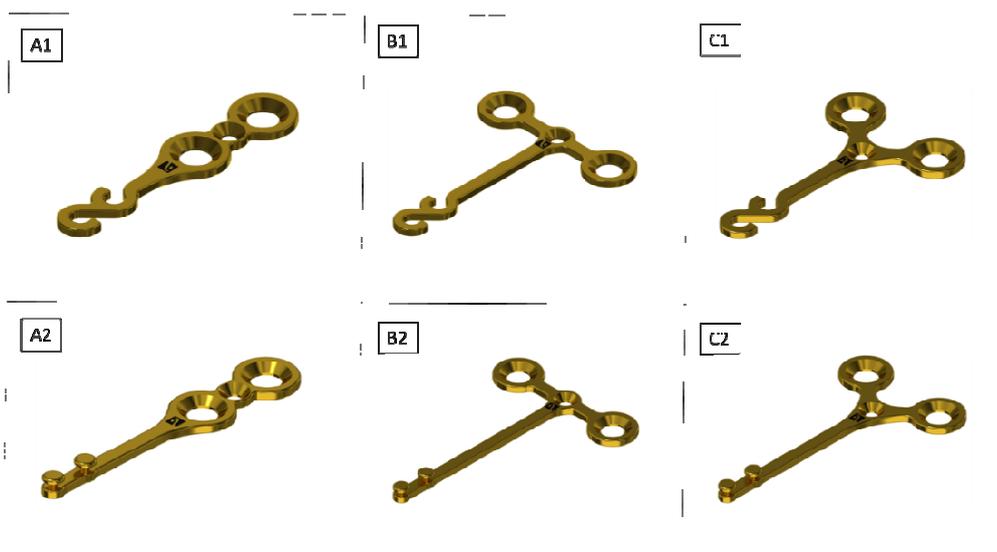


Figura 1: Modelos tridimensionais das miniplacas estudadas separadas por tipos. A1: 20 mm, A2: 23 mm, B1: 20 mm, B2: 19 mm, C1: 19 mm, C2: 23 mm.

Os modelos geométricos das miniplacas foram gerados pelo *computer-aided design* (CAD). Em seguida, conhecendo-se a qualidade do material e dimensões das placas, foram obtidos modelos tridimensionais com elementos tetraédricos de 10 nós e base triangular (Figura 2) por meio do *software* FEMAP versão 10.2, sendo compatíveis com o método de avaliação por elementos finitos.

Para a realização das análises, simulou-se a fixação das miniplacas, evidenciando as regiões em que seriam instalados os parafusos de fixação e tachinha de pré-fixação (Figura 2).

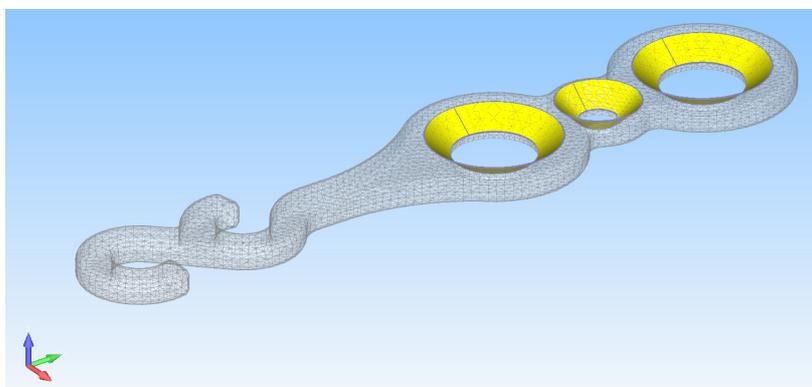


Figura 2: Modelo tridimensional da miniplaca do grupo A1, evidenciando a malha tetraédrica e a região de fixação dos parafusos de fixação e tachinha pré-fixação, em amarelo.

Foram analisadas regiões de tensão nas miniplacas, aplicando-se forças de magnitudes 1N, 2N, 3N, nas direções vertical, horizontal e em 45°, simulando as forças ortodônticas para os movimentos de retração, intrusão e protração maxilar ^{1,2,3} conforme a figura 3. O critério de análise dos resultados foi por Von mises.

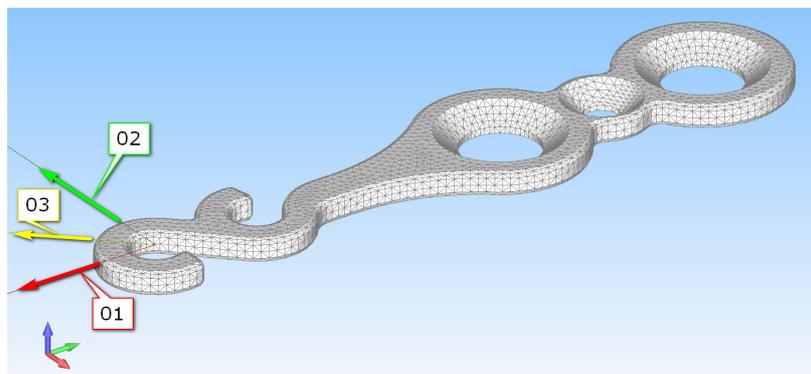


Figura 3: Demonstração das linhas de ação de força aplicadas: vertical (01), horizontal (02) e diagonal (03).

Após a obtenção dos resultados, foi realizada a análise descritiva das distribuições de tensões dos seis desenhos das miniplacas.

Resultados

Foram obtidas noventa análises. Os resultados são demonstrados em uma escala de cores de diferentes tonalidades que representam diferentes níveis de tensão sobre o elemento analisado (Figura 4).

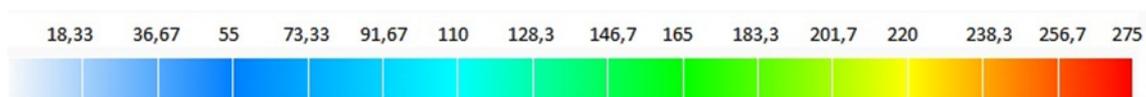


Figura 4: Escala de cores representando as tensões (MPa) do material titânio grau 2 – 275 MPa de tensão de escoamento. Variação: 18,33-275 MPa.

1. Análise de aplicação de forças no sentido vertical

As miniplacas apresentaram satisfatória distribuição de tensão nas três magnitudes de força aplicadas, permanecendo distante do limite de escoamento do material, o que se pode observar comparando os resultados com a escala de cores da Figura 4. No caso das miniplacas dos tipos A1, B1, C1, apesar de terem

demonstrado baixo nível de tensão, as regiões mais afetadas limitaram-se às extremidades de ativação (ganchos invertidos) como pode ser visualizado na Figura 5 e, nos grupos A2, B2, C2, as tensões foram distribuídas pela haste, conforme demonstrados na Figura 6.

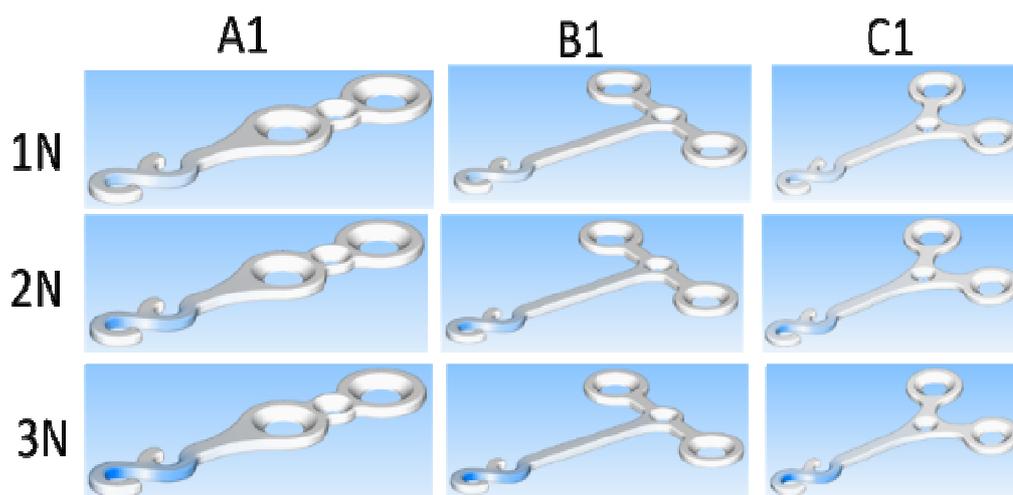


Figura 5: Regiões de tensão ao ser aplicada força vertical de acordo com as diferentes magnitudes e configurações, segundo a extremidade com ganchos invertidos.

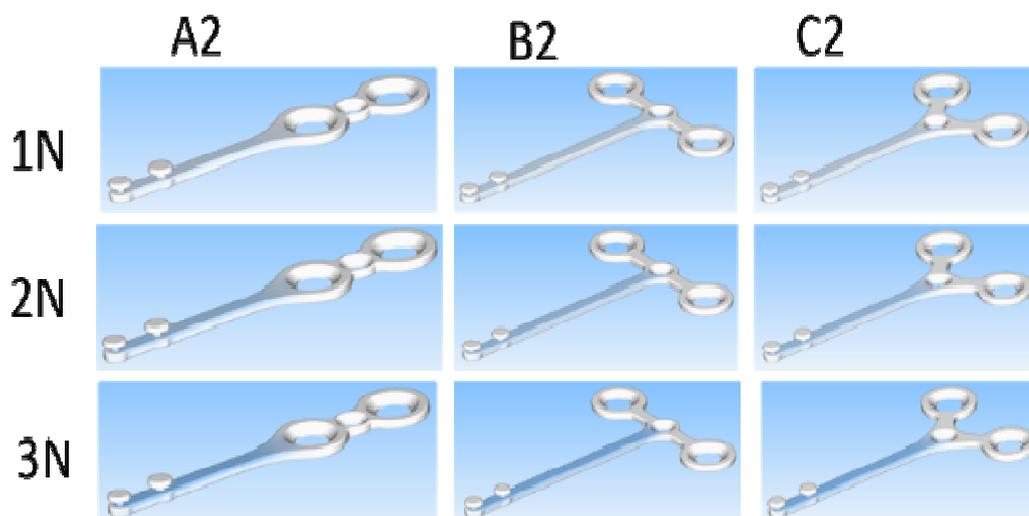


Figura 6: Regiões de tensão ao ser aplicada força vertical de acordo com as diferentes magnitudes e configurações, segundo a extremidade com botões.

Nas figuras 7 e 8, destaca-se as diferenças das distribuições de tensões das miniplacas com ganchos invertidos e dois botões, respectivamente, quando se aplica força de 3N, sendo a carga mais pesada do estudo.

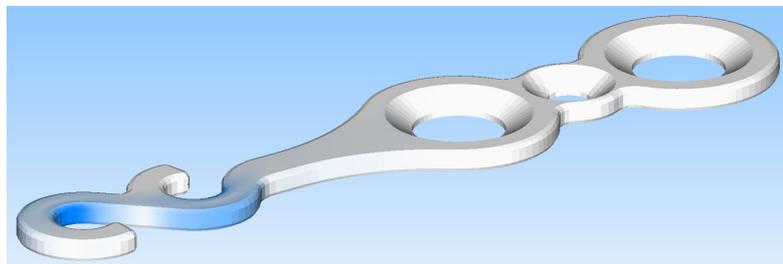


Figura 7: Região de tensão observada na miniplaca do tipo A1, limitando-se ao ponto de aplicação de força quando aplicado 3N na direção vertical.

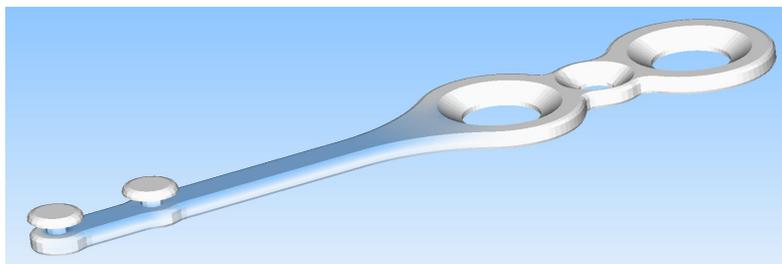


Figura 8: Região de tensão observada na miniplaca do tipo B1, sendo distribuída ao longo da haste, quando aplicado 3N na direção vertical.

2. Análise de aplicação de forças no sentido horizontal

As miniplacas dos tipos B1, B2 e C2, atingiram o limite de escoamento do material na região do pescoço próximo ao local de inserção dos parafusos de fixação, ao sofrerem carga de 3N, o que está representado na cor vermelha nas imagens das Figura 9 e 10. As miniplacas “T” demonstraram maior tensão localizada nesta análise.

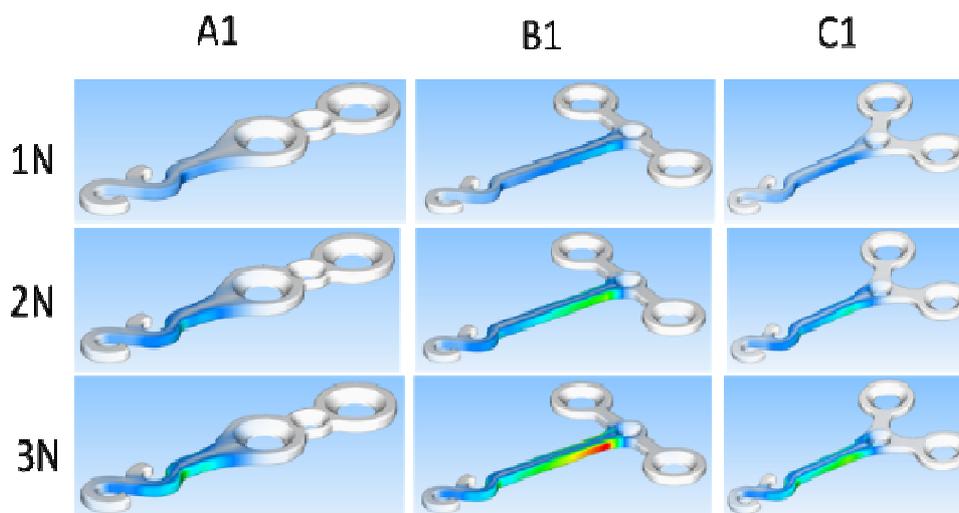


Figura 9: Regiões de tensão ao ser aplicada força horizontal de acordo com as diferentes magnitudes e configurações, segundo a extremidade com ganchos invertidos.

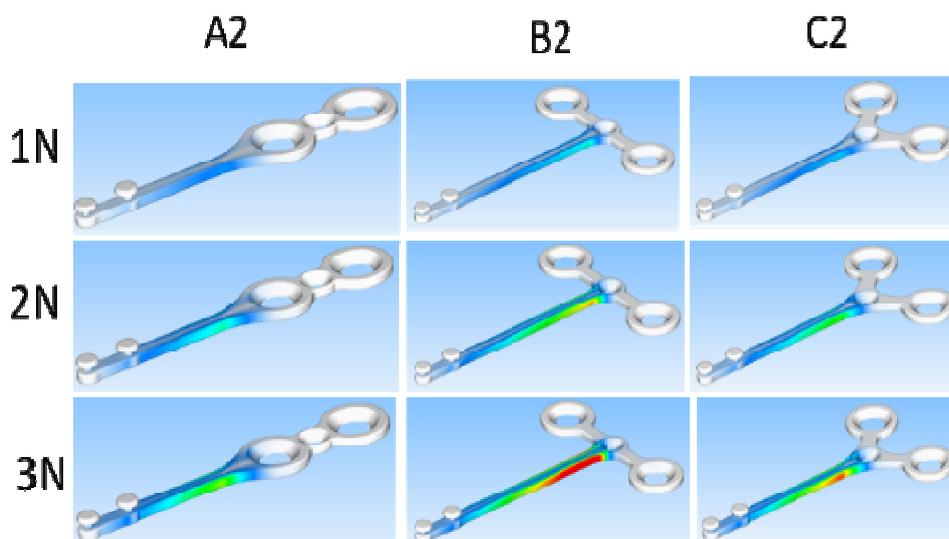


Figura 10: Regiões de tensão ao ser aplicada força horizontal de acordo com as diferentes magnitudes e configurações, segundo a extremidade com botões.

Observa-se na Figura 11 a diferença na distribuição das tensões, comparando B1 e B2, que possuem o mesmo desenho, porém com ganchos invertidos e botões em suas extremidades.

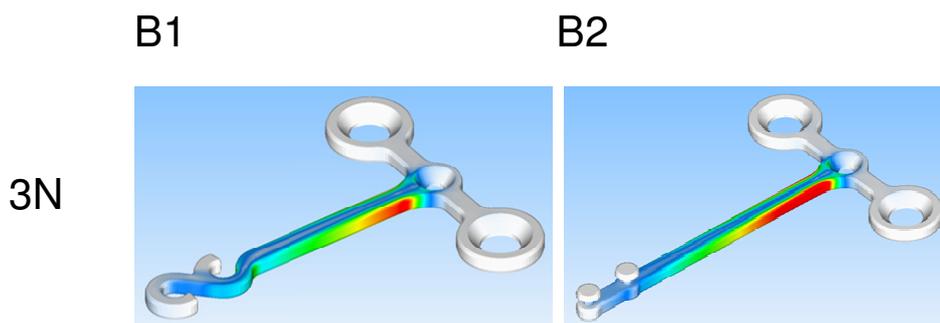


Figura 11: Região de tensão na miniplaca “T” ao ser aplicada uma força horizontal de 3N, de acordo com as diferentes extremidades, com ganchos invertidos e botões.

3. Análise de aplicação de forças na direção diagonal

De modo geral, as miniplacas A1, B1 e C1 com aplicação de força na direção diagonal demonstraram satisfatória distribuição de tensões, como se observa na Figura 12.

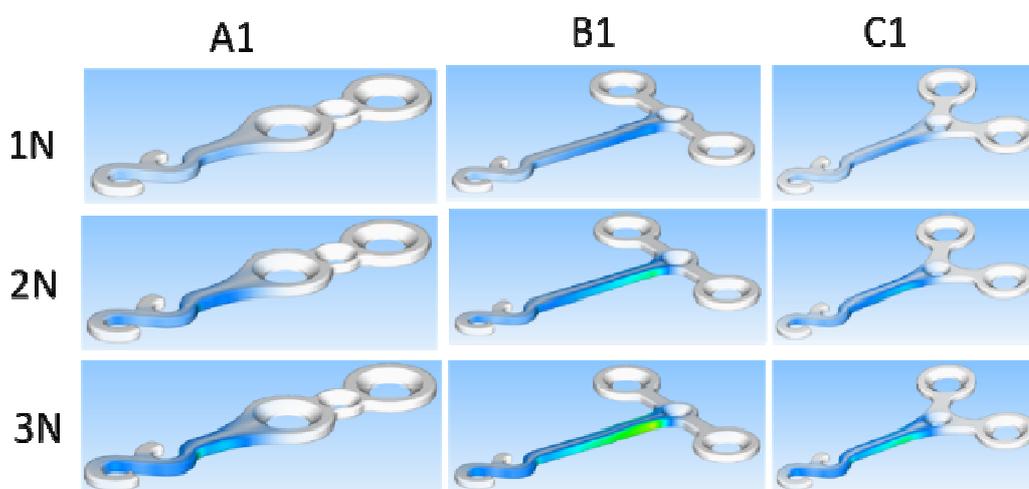


Figura 12: Regiões de tensão ao ser aplicada força na direção diagonal de acordo com as diferentes magnitudes de força e extremidade com ganchos invertidos.

Dentre as miniplacas com botões, aquela que proporcionou maior tensão localizada foi a do tipo B2 com magnitude de força de 3N, a qual apresentou tensão ao longo da haste, atingindo o limite de escoamento do material superficialmente próximo da junção da haste com o corpo (Figuras 13 e 14),

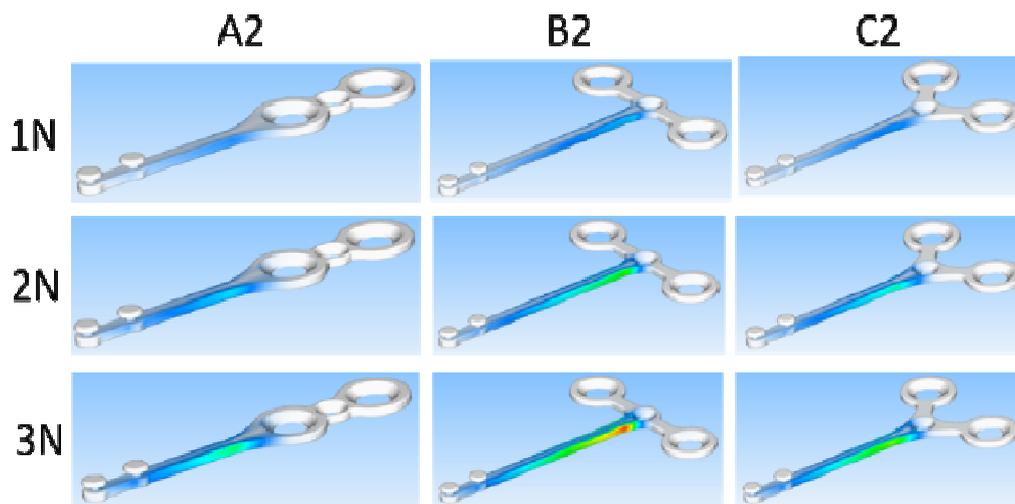


Figura 13: Regiões de tensão ao ser aplicada força na direção diagonal de acordo com as diferentes magnitudes de força e extremidade com botões.

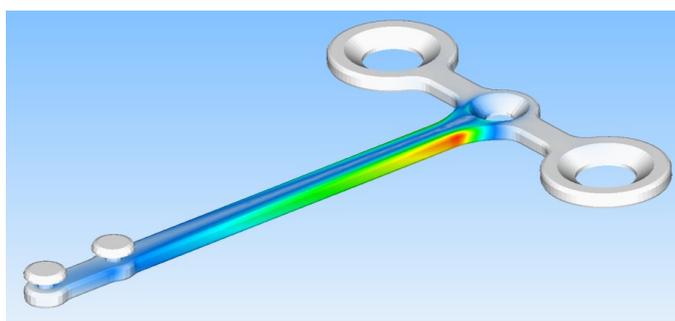


Figura 14: Detalhe da região de tensão da miniplaca “T” com botões, ao ser aplicada força de 3N na direção diagonal.

Discussão

De acordo com a literatura, as miniplacas não interferem na movimentação dentária²³, podem suportar forças pesadas devido a sua estabilização por múltiplos parafusos² e serem versáteis quando a situação anatômica impede a instalação de um mini-implante.² Ainda, o uso da miniplaca tem simplificado mecânicas de tratamento ortodôntico, diminuindo o tempo de tratamento.²⁷ Há situações clínicas em que as miniplacas são preferíveis, como exemplo nos casos de mordida aberta que necessitam de intrusão posterior^{22, 24, 28} e, quando necessária, a distalização em massa^{1, 9, 24}, pois permitem movimentação dentária eficiente sem a necessidade de remoção e reinstalação

do acessório como ocorreria se fossem utilizados mini-implantes.²² O reposicionamento de mini-implantes requer uma mudança na biomecânica do tratamento pois a alteração do ponto de aplicação de força, afeta a ligação entre o centro de resistência do segmento a ser movimentado e o ponto de ancoragem.¹⁶ As miniplacas também podem ser utilizadas na terapia de Classe III com protração maxilar, conforme introduzido por De Clerck et al¹⁰ em 2009, e avaliado em situações clínicas obtendo altas taxas de sucesso.^{5, 8} A taxa de sucesso das miniplacas com variação de 90% a 97%, foi demonstrada em diversos estudos.^{8, 5, 6, 14, 15}

No entanto há situações que podem levar a perda da miniplaca durante o tratamento ortodôntico, sendo uma delas a inflamação.^{1,5,8} No estudo prospectivo realizado por De Clerck em 2011⁸, foi observado que o design da miniplaca complicou a higiene da mesma, assim como relatado no estudo de Cornelis et al⁵, os quais afirmaram que parte dos pacientes relataram dificuldades para higienizar o acessório, podendo provocar uma inflamação na região. Choi et al¹, afirmaram que as miniplacas podem ser mais utilizadas como ancoragem se as taxas de complicações minimizarem, o que pode ser possível diminuindo o tamanho da miniplaca, principalmente na região transmucosa e declararam também, assim como Veziroglu et al²⁹ que há necessidade de estudos com novos desenhos de miniplacas. Isso evidencia a relevância do presente estudo ao se alterar o desenho das miniplacas, tornando-as mais refinadas na região de haste transmucosa e apropriadas para uma melhor acomodação/cicatrização em tecido mucoso.

Além da inflamação em tecido mucoso, o desenho da miniplaca também interfere na distribuição de tensões ao longo do sistema, podendo ocasionar acúmulo de tensões que afetam diretamente os parafusos de fixação²⁰ sendo esta, mais uma situação que pode levar a perdas do acessório. Este fato demonstra a importância do presente

estudo, ao avaliar, por meio do MEF, as regiões de tensão que as miniplacas são submetidas quando aplicadas forças ortodônticas e/ou ortopédicas, realizando os testes antes de sua efetiva produção. Este método de análise foi escolhido devido a suas vantagens de ser preciso, possibilitar a simulação de estruturas bucais *in-vitro*, simular o sistema de forças ortodônticas aplicadas clinicamente e possibilitar estudos de novos materiais de forma não invasiva antes do uso clínico.²⁹ Conforme a literatura, por ser um método numérico, podemos ter maior precisão nos resultados, os quais possuem confiabilidade de acordo com a malha dos modelos.¹⁸ No presente estudo foi utilizada a malha de 10 nós, assim como nos estudos realizados em 2012 por Liu et al¹⁸ e em 2014 por Largura et al¹⁵.

As alterações nas extremidades das miniplacas do presente estudo, foram idealizadas com o intuito de facilitar a utilização de dispositivos ortodônticos, sendo as de botões projetadas para a utilização de molas fechadas de níquel-titânio^{1,14} e corrente elástica¹ e as de ganchos invertidos, elaboradas principalmente para o uso de elásticos intermaxilares e corrente elástica. Veziroglu et al²⁹ em 2008, observaram que as tensões ocorrem principalmente no osso ao redor do parafuso de fixação e nas extremidades de ativação, corroborando com estudo realizado por Huang et al¹², os quais observaram que o maior deslocamento das miniplacas, ocorreu no local de carregamento e concluíram que a distribuição das tensões sobre as miniplacas também dependem do tipo de extremidade de ativação, afirmando que há necessidade da criação de novos desenhos de miniplacas que alterem estas regiões. Portanto, demonstrando a importância das alterações nas extremidades de ativação dos novos desenhos de miniplacas – ganchos invertidos e dois botões - do presente estudo, e da natureza de avaliação (MEF) utilizada neste trabalho, que corroborando com os autores citados, também observou diferentes

distribuições de tensões de acordo com os diferentes tipos de extremidade e de direção de força.

As magnitudes e direções de forças testadas no presente estudo foram definidas com o propósito de simular a mecânica ortodôntica a ser aplicada. Assim sendo, a direção diagonal simula a tração reversa da maxila¹¹, horizontal simula a retração e a distalização e a vertical,aintrusão¹². Para a utilização da terapia de tração reversa da maxila com o uso de miniplacas, De Clerck et al¹⁰, preconizaram a aplicação de 100g de força no primeiro mês de tratamento e 200g no segundo, o qual se aproxima do estudo realizado em 2011 que descreveram o uso de 150g⁸ e diverge do estudo realizado por Heymann et al¹¹ os quais chegaram a utilizar 250g de força para o mesmo procedimento. Choi et al¹, utilizaram miniplacas para realizar retração anterior, utilizando de 300 a 400g de força, diferente do estudo realizado em animais que relatou a aplicação de 150 a 200g para realizar retração anterior. Sugawara e Nishimura²³ descreveram em 2005, casos em que se utilizou miniplacas para realizar intrusão e distalização em massa utilizando 400g de força. No entanto, um estudo mais recente demonstra sucesso na distalização de molares na maxila utilizando 150g de força. Com base na literatura, as miniplacas do presente estudo foram testadas aplicando-se forças de 1N, 2N e 3N o que equivale a aproximadamente 100g, 200g e 300g, simulando as diferentes mecânicas ortodônticas.^{1, 8, 10, 11, 23}

Na avaliação das miniplacas em forma de I, observou-se boa distribuição das tensões em todas as magnitudes e direções de forças aplicadas, permanecendo distante do limite de escoamento do material e apresentaram comportamentos diferentes ao se comparar as miniplacas com ganchos invertidos e com dois botões, sendo que na primeira, observou-se tensões localizadas especificamente nos ganchos e a segunda com tensões distribuídas ao longo da miniplaca, não afetando os botões. Este resultado difere

do estudo realizado por Nalbantgil et al ²⁰, os quais estudaram três modelos de miniplacas em forma de “T”, avaliando regiões de maior tensão pelo MEF, e tiveram como resultado a tensão localizada na região do pescoço da miniplaca ao se aplicar 200g de força horizontal, atingindo o limite de escoamento do material avaliado. No entanto, estes resultados se assemelham aos do presente trabalho quando se trata das placas em forma de “T”, as quais demonstraram maior tensão na região do pescoço quando aplicado força horizontal acima de 2N, apesar disso, de acordo com a literatura, as placas em forma de “T” e “Y” geram menor estresse ao osso.¹² Com relação às miniplacas em forma de “Y”, quando se aplica força horizontal, nota-se uma diferença na distribuição de tensões ao longo da miniplaca em casos de extremidades diferentes. Nas miniplacas do tipo C1 (forma de Y com ganchos invertidos), houve melhor distribuição das tensões ao longo do acessório tendo menos regiões de tensão localizada, já as miniplacas do tipo C2 (forma de Y com dois botões) apresentaram tensão localizada no pescoço, corroborando com os resultados de Nalbantgil et al ²⁰.

Em um estudo mecânico com três marcas comerciais de miniplacas, Trandem et al ²⁶ aplicaram forças verticais de 0-100N, observando o limite de deformação plástica das mesmas. E verificaram que os três tipos suportaram forças acima de 1300g. Este método de análise não localiza as regiões de maior tensão antes de ocorrer a deformação plástica, o que demonstra a vantagem do MEF, o qual possibilita localizar regiões de possível falha antes da utilização do material. Em outro trabalho, Huang et al ¹², realizaram um estudo com miniplacas para avaliar o estresse no osso, ocasionado por forças ortodônticas. Para tanto utilizaram quatro tipos de miniplacas: em forma de “T”, “T”, “Y” e “L”, aplicando-se magnitudes de forças de 2,4 e 6N nas direções 0° e 90°. Observou-se que as forças horizontais induzem a maior estresse no osso do que as

forças verticais, o que se assemelha aos resultados do presente estudo, que demonstra que as forças mais críticas são as horizontais.

Para compreendermos o comportamento das miniplacas quando submetidas a carga horizontal, podemos compará-las aos dentes, que quando recebem uma carga horizontal com a linha de ação de força não coincidindo com o seu centro de resistência, é gerado um momento, o qual é baseado na multiplicação da distância entre o ponto de aplicação de força e o centro de resistência do dente e a magnitude de força aplicada.³⁰ Assim sendo, quando temos uma miniplaca mais longa e aplica-se uma linha de ação de força horizontal, gera-se momento maior do que quando temos uma miniplaca mais curta, devido a diminuição da distância entre a linha de ação de força e o centro de resistência do dispositivo. No presente estudo foram projetados desenhos de miniplacas com haste mais curta, objetivando maior facilidade de instalação e praticidade em sua utilização. Embora a diminuição do comprimento minimize o momento gerado, a miniplaca “T” ainda carece de modificações no que se refere ao pescoço e espessura da haste.

Conclusão

As miniplacas demonstraram, de uma maneira geral, boa distribuição de tensões, caracterizando-se em uma boa opção de ancoragem esquelética para os tratamentos ortodônticos.

Referências

- 1- Choi BH, Zhu JS, Kim HY. A clinnical evaluation of titanium miniplates as anchors for orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128:382-384.
- 2- Chung KR, Kim SH, Kang YG, Nelson G. Orthodontic miniplate with tube as an eficiente tool for borderline cases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139:551-62.
- 3- Creekmore TD, Eklund MK. The possibility os skeletal anchorage. *J Clin Orthod.* 1983;17:266-9.

- 4- Cornelis MA e De Clerck HJ. Maxillary molar distalization with miniplates assessed on digital models: A prospective clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007; 132:373-7.
- 5- Cornelis MA, Scheffler NR, Nyssen-Behets C, De Clerck HJ, Tulloch JF. Patients' and orthodontists' perceptions of miniplates used for temporary skeletal anchorage: a prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 133(1):18-24.
- 6- Cornelis MA, Scheffler N, Mahy P, Siciliano S, Clerk H, Tulloch C." Modified miniplates for skeletal anchorage in orthodontics:placement and removal surgeries." *J Oral Maxillofacial Surg.* 2008; 66:1439-1445.
- 7- Dalstra M, Cattaneo P, Melsen B. Load transfer of miniscrews for orthodontic anchorage. *Orthodontics* 2004;1: 53-62.
- 8- De Clerck EEB e Swennen GRJ. Success rate of miniplate Anchorage for boné anchored maxillary protraction. *Angle Orthod.* 2011;81:1010-1013.
- 9- De Clerck HJ, Geerinckx V, Siciliano S. The Zygoma Anchorage System.*J Clin Orthod.* 2002 Aug;36:455-9.
- 10- De Clerck HJ, Cornelis MA, Cevidanes LH, Heymann GC, Tulloch CJF. Orthopedic Traction os the Maxilla with Miniplates: A New Perspective for Tratment of Midface Deficiency. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67:2123-29.
- 11- Heymann GC, Cevidanes L, Cornelis M, De Clerck HJ, Tulloch C. Three-dimensional analysis of maxillary protraction with intermaxillary elastics to miniplates. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010; 137(2): 274–284.
- 12- Huang YW, Chang CH, Wong TH e Liuc JH. "Bone stress when miniplates are used for orthodontic anchorage: Finite element analysis" *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142:466-72
- 13- Jenner JD, Fitzpatrick BN. Skeletal anchorage utilizing bone plates. *Aust Orthod J.* 1985;9:231-233.
- 14- Kim S, Herring S, Wang IC, Alcalde R, Mak V, Fu I, et al. A comparison os miniplates and teeth for orthodontic Anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 133:189,e1-189,e9.
- 15- Largura LZ, Argenta MA, Sakima MT, Camargo ES, Guariza-filho O, Tanaka OM. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146:198-206.
- 16- Lee JH, Choo HR, Kim SH, Chung KR, Giannuzzi LA, Ngan P. Replacing a failed mini-implant with a miniplate to prevent interruption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139:849-57.
- 17- Leung MTC, Rabie ABM, Wong RWK. Stability od connected mini-implants and miniplates for skeletal Anchorage in orthodontics. *Eur J Orthod.* 2008 Oct;30(5):483-9.

- 18- Liu TC, Chang HC, Wong TY e Liu JK. Finite elemento analysis of miniscrew implants used for orthodontic Anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012; 141:468-76.
- 19- Miyahira YI, Maltagliati LA, Siqueira DF, Romano R. Miniplates as skeletal Anchorage for treatment mandibular second molar impactions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 134:145-8.
- 20- Nalbantgil D, Tozlu M, Ozdemir F, Oguz M, Tulin O. FEM analysis of a new miniplate: stressdistribution on the plate, screws and the bone. *Eur J Dent.* 2012;6:9-15.
- 21- Schatzle M, Mannchen R, Zwahlen M, Lang NP. Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20:1351-9.
- 22- Park JH, Tai K, Takagi M. Open-Bite Treatment Using Maxillary and Mandibular Miniplates. *J Clin Orthod.* 2015;49:398-408.
- 23- Sugawara J, Nishimura M. Minibone Plates: The Skeletal Anchorage System. Minibone plates: the skeletal anchorage system. *Semin. Orthod.* 2005;11(1):47-56.
- 24- Sugawara J. Temporary skeletal anchorage devices: the case for miniplates. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(5):559-65.
- 25- Takaki T, Tamura N, Yamamoto M, Takano N, Shibahara T, Yasumura T et al. Clinical Study of Temporary Anchorage Devices for Orthodontic Treatment- Stability of Micro/Mini-screws and Mini-plates: Experience with 455 cases. *Bull Tokyo Dent Coll.* 2010;51:151-163.
- 26- Trandem KC, Korach CS, Schindel RH. Comparision of deformation of 3 orthodontic miniplate lever arms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140:531-6.
- 27- Tseng YC, Chen CM, Wang HC, Wang CH, Lee HE, Lee KT. Pain perception during miniplate-assisted orthodontic therapy. *Kaohsiung J Med Sci.* 2010;26(11):603-8.
- 28- Umemori M, Sugawara J, Mitani H, Nagasaka H, Kawamura H. Skeletal anchorage system for open bite correction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;115:166-74.
- 29- Veziroglu F, Uckan S, Ozden UA. "A Stability of Zygomatic Plate-Screw Orthodontic Anchorage System." *AngleOrthod.* 2008;78:902-907.
- 30- Vecilli A, Vecilli R. Determinação da linha de ação da força de e ativação de cantiléveres para movimentos ortodônticos. *Rev Clin Ortodon Dental Press.* 2015;14(4):17-24.
- 31- Volkan A, Cagri U, Cagri T. Effects of a newly designed orthodontic miniplate platform for elevating the miniplate over the gingiva: A 3-dimensional finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;148:110-22.

6. Referências

- 1- Choi BH, Zhu JS, Kim HY. A clinical evaluation of titanium miniplates as anchors for orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128:382-384.
- 2- Chung KR, Kim SH, Kang YG, Nelson G. Orthodontic miniplate with tube as an efficient tool for borderline cases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139:551-62.
- 3- Creekmore TD, Eklund MK. The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod.* 1983;17:266-9.
- 4- Cornelis MA e De Clerck HJ. Maxillary molar distalization with miniplates assessed on digital models: A prospective clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007; 132:373-7.
- 5- Cornelis MA, Scheffler NR, Nyssen-Behets C, De Clerck HJ, Tulloch JF. Patients' and orthodontists' perceptions of miniplates used for temporary skeletal anchorage: a prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 133(1):18-24.
- 6- Cornelis MA, Scheffler N, Mahy P, Siciliano S, Clerk H, Tulloch C." Modified miniplates for skeletal anchorage in orthodontics:placement and removal surgeries." *J Oral Maxillofacial Surg.* 2008; 66:1439-1445.
- 7- Dalstra M, Cattaneo P, Melsen B. Load transfer of miniscrews for orthodontic anchorage. *Orthodontics* 2004;1: 53-62.
- 8- De Clerck EEB e Swennen GRJ. Success rate of miniplate Anchorage for bone anchored maxillary protraction. *Angle Orthod.* 2011;81:1010-1013.
- 9- De Clerck HJ, Geerinckx V, Siciliano S. The Zygoma Anchorage System.*J Clin Orthod.* 2002 Aug;36:455-9.
- 10- De Clerck HJ, Cornelis MA, Cevidanes LH, Heymann GC, Tulloch CJF. Orthopedic Traction of the Maxilla with Miniplates: A New Perspective for Treatment of Midface Deficiency. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67:2123-29.
- 11- Heymann GC, Cevidanes L, Cornelis M, De Clerck HJ, Tulloch C. Three-dimensional analysis of maxillary protraction with intermaxillary elastics to miniplates. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010; 137(2): 274–284.
- 12- Huang YW, Chang CH, Wong TH e Liuc JH. "Bone stress when miniplates are used for orthodontic anchorage: Finite element analysis" *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142:466-72
- 13- Jenner JD, Fitzpatrick BN. Skeletal anchorage utilizing bone plates. *Aust Orthod J.* 1985;9:231-233.

- 14- Kim S, Herring S, Wang IC, Alcalde R, Mak V, Fu I, et al. A comparison os miniplates and teeth for orthodontic Anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 133:189,e1-189,e9.
- 15- Largura LZ, Argenta MA, Sakima MT, Camargo ES, Guariza-filho O, Tanaka OM. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146:198-206.
- 16- Lee JH, Choo HR, Kim SH, Chung KR, Giannuzzi LA, Ngan P. Replacing a failed mini-implant with a miniplate to prevent interruption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139:849-57.
- 17- Leung MTC, Rabie ABM, Wong RWK. Stability od connected mini-implants and miniplates for skeletal Anchorage in orthodontics. *Eur J Orthod.* 2008 Oct;30(5):483-9.
- 18- Liu TC, Chang HC, Wong TY e Liu JK. Finite elemento analysis of miniscrew implants used for orthodontic Anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012; 141:468-76.
- 19- Miyahira YI, Maltagliati LA, Siqueira DF, Romano R. Miniplates as skeletal Anchorage for treatment mandibular second molar impactions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 134:145-8.
- 20- Nalbantgil D, Tozlu M, Ozdemir F, Oguz M, Tulin O. FEM analysis of a new miniplate: stressdistribution on the plate, screws and the bone. *Eur J Dent.* 2012;6:9-15.
- 21- Schatzle M, Mannchen R, Zwahlen M, Lang NP. Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20:1351-9.
- 22- Park JH, Tai K, Takagi M. Open-Bite Treatment Using Maxillary and Mandibular Miniplates. *J Clin Orthod.* 2015;49:398-408.
- 23- Sugawara J, Nishimura M. Minibone Plates: The Skeletal Anchorage System. Minibone plates: the skeletal anchorage system. *Semin. Orthod.* 2005;11(1):47-56.
- 24- Sugawara J. Temporary skeletal anchorage devices: the case for miniplates. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(5):559-65.
- 25- Takaki T, Tamura N, Yamamoto M, Takano N, Shibahara T, Yasumura T et al. Clinical Study of Temporary Anchorage Devices for Orthodontic Treatment- Stability of Micro/Mini-screws and Mini-plates: Experience with 455 cases. *Bull Tokyo Dent Coll.* 2010;51:151-163.
- 26- Trandem KC, Korach CS, Schindel RH. Comparision of deformation of 3 orthodontic miniplate lever arms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140:531-6.

- 27- Tseng YC, Chen CM, Wang HC, Wang CH, Lee HE, Lee KT. Pain perception during miniplate-assisted orthodontic therapy. *Kaohsiung J Med Sci.* 2010;26(11):603-8.
- 28- Umemori M, Sugawara J, Mitani H, Nagasaka H, Kawamura H. Skeletal anchorage system for open bite correction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;115:166-74.
- 29- Veziroglu F, Uckan S, Ozden UA. “A Stability of Zygomatic Plate-Screw Orthodontic Anchorage System.” *AngleOrthod.* 2008;78:902-907.
- 30- Viecilli A, Viecilli R. Determinação da linha de ação da força de e ativação de cantiléveres para movimentos ortodônticos. *Rev Clin Ortodon Dental Press.* 2015;14(4):17-24.
- 31- Volkan A, Cagri U, Cagri T. Effects of a newly designed orthodontic miniplate platform for elevating the miniplate over the gingiva: A 3-dimensional finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;148:110-22.

7. Anexo

1. Link para visualização das normas da revista Brazilian Oral Research, para qual foi redigido o artigo científico:

<http://www.scielo.br/revistas/bor/iinstruc.htm#002>