



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
MESTRADO EM CIÊNCIAS ODONTOLÓGICAS INTEGRADAS**

JOSÉ MARCOS SQUILLACE

**ANÁLISE PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DA
DISTRIBUIÇÃO DE FORÇAS DURANTE A EXPANSÃO
CIRURGICAMENTE ASSISTIDA DAS MAXILAS UTILIZANDO
DISTRATOR DE HYRAX E PALATAL**

Cuiabá
2016

**ANÁLISE PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DA
DISTRIBUIÇÃO DE FORÇAS DURANTE A EXPANSÃO
CIRURGICAMENTE ASSISTIDA DAS MAXILAS UTILIZANDO
DISTRATOR DE HYRAX E PALATAL**

Dissertação apresentada ao programa de pós graduação da Universidade de Cuiabá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Odontológicas Integradas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Meireles Borba
Coorientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Tonetto

Cuiabá
2016

S242a Squillace, José Marcos.

Análise pelo método de elementos finitos da distribuição de forças durante a expansão cirurgicamente assistida das maxilas utilizando distrator de hyrax e palatal / José Marcos Squillace; Dr. Alexandre Meireles Borba; Dr. Mateus Rodrigues Tonetto – Cuiabá, 2016.

52f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas na Universidade de Cuiabá) – UNIC.

1. Hyrax. 2. Expansão cirúrgica. 3. Maxila. 4. Elementos finitos

I. Título.

CDU – 616.314

JOSÉ MARCOS SQUILLACE

ANÁLISE PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DA DISTRIBUIÇÃO DE
FORÇAS DURANTE A EXPANSÃO CIRURGICAMENTE ASSISTIDA DAS
MAXILAS UTILIZANDO DISTRATOR DE HYRAX E PALATAL

Dissertação apresentada ao programa de pós graduação da Universidade de Cuiabá, no Mestrado em Ciências Odontológicas Integradas. Área e concentração em Odontologia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, conferida pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Prof. Dr. Alexandre Meireles Borba
UNIC

Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes
UNIC

Profa. Dra. Suzane A Raslan
UNIC

Cuiabá, 28 de abril de 2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, que antes de tudo e de todos é quem me ilumina e capacita nos deveres e obrigações diários. Sua presença em mais essa vitória foi fundamental em cada viagem, protegendo a mim e a meus pacientes que ficavam a espera do meu retorno.

Aos meus pais, que desde sempre acreditaram que a educação seria a única saída para mudar a sorte de uma família. Agradeço pelo exemplo de educação, dedicação, honestidade e humildade, tudo sempre foi e sempre será para honrar o nome de vocês. Meu amor incondicional.

À minha querida esposa Leticia, para mim, uma referência de profissional, estudante e mulher. Obrigado pelo amor, apoio, e constante incentivo nessa nossa longa caminhada que nos dispusemos a dividir. Não existe um grande homem sem uma grande mulher ao lado, obrigado por ser a minha. Te amo.

Aos meus queridos irmãos, Renata e Luiz Henrique, que, mesmo distantes dá para sentir o amor e a torcida que sempre tiveram pela minha carreira profissional. Saibam que a recíproca é verdadeira. Amo muito vocês.

A todos os outros familiares que, como uma boa família italiana, não precisam estar presentes para comemorar as vitórias e conquistas.

A todos os colegas do mestrado, cada um com seu jeito e com suas manias me fizeram aprender mais e mais a cada aula dividida, a todos vocês eu dedico parte dessa vitória.

Ao coordenador do curso de Odontologia da Universidade de Cuiabá – UNIC, *campus* Tangará da Serra, professor Fábio Carmona, que sempre acreditou em meu trabalho e me incentivou a buscar novos conhecimentos para auxílio na vida pessoal e acadêmica.

A todos os colegas de trabalho da Universidade de Cuiabá, *campus* Tangará da Serra, em especial à minha parceira Thaíse, que segurou as pontas em todas as minhas ausências. Obrigado por tudo, sempre, você é a parceira que todos gostariam de ter.

Aos meus queridos amigos Danilo Louzada e Wanderlei Zanforlin Jr. De companheiros de profissão tornaram-se amigos e fonte de conselhos e inspiração profissional. Obrigado pela ajuda na escolha desse tema. Que sorte a minha ter vocês como amigos, sou eternamente grato por tudo até aqui e por tudo que ainda faremos juntos.

Ao Coordenador do Mestrado em Ciências Odontológicas Integradas da Universidade de Cuiabá – UNIC, Prof. Dr. Álvaro Henrique Borges, um líder nato, obrigado por todo o respeito, risadas e palavras de incentivo.

Ao Reitor da Universidade de Cuiabá – UNIC, Rui Fava.

Ao Pró-reitor Acadêmico da Universidade de Cuiabá – UNIC, José Cláudio Percin.

Ao Pró-reitor Administrativo e Diretor de unidade da Universidade de Cuiabá – UNIC, Fernando Ciríaco Dias Neto.

Ao Diretor de Pós-graduação *stricto sensu* da Kroton, Prof. Dr. Helio Suguimoto.

À Coordenadora de Pesquisa e Pós-graduação *stricto sensu* da Universidade de Cuiabá – UNIC, Lucélia de Oliveira Santos.

Ao Coordenador do Mestrado em Ciências Odontológicas Integradas da Universidade de Cuiabá – UNIC, Prof. Dr. Álvaro Henrique Borges.

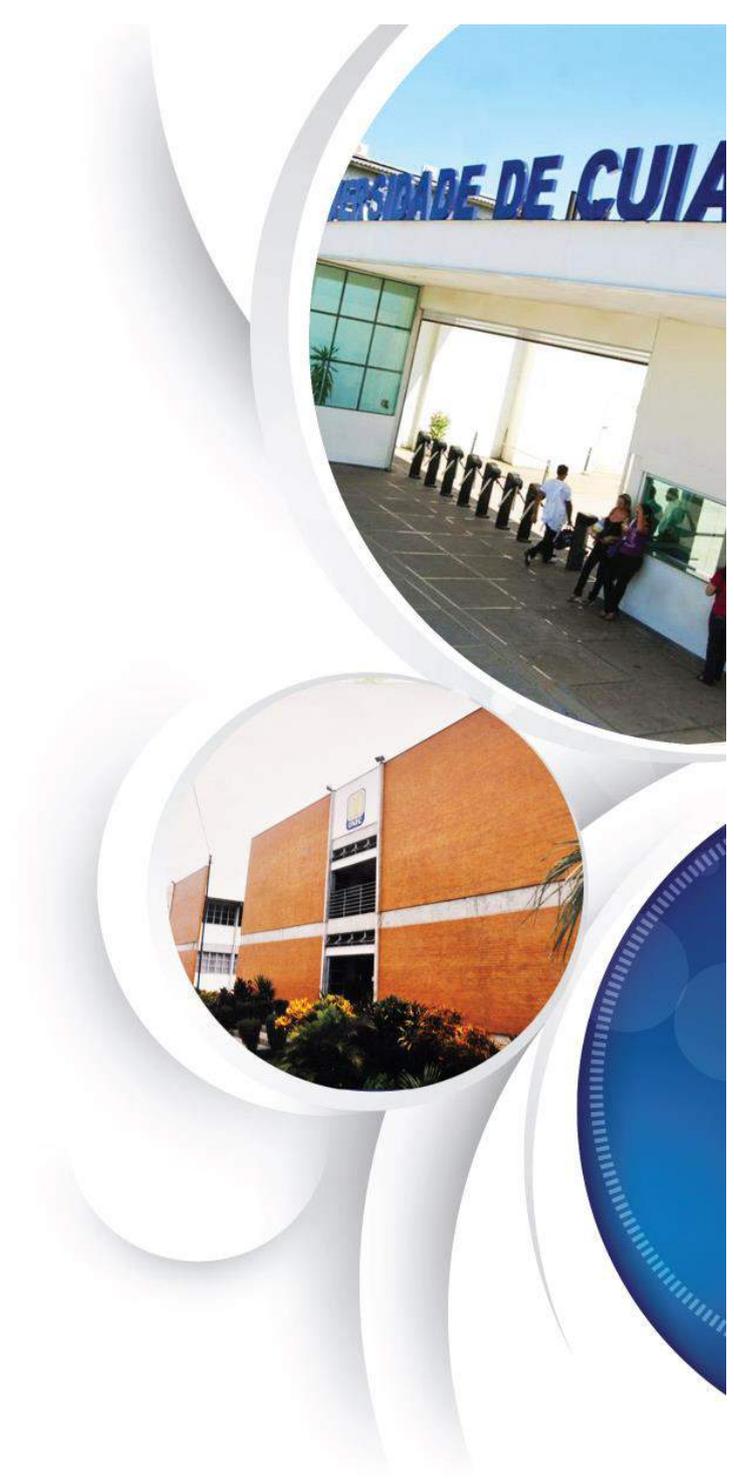
Ao Diretor da Faculdade de Odontologia da Universidade de Cuiabá – UNIC, Fábio Luis Miranda Pedro.

A todos os professores do Mestrado que, com sua sabedoria, contribuíram muito para meu crescimento nessa nobre arte da docência, que exemplo de profissionais. Minha sincera gratidão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Meireles Borba, muito obrigado por acreditar em mim e no tema proposto, sua confiança em meu trabalho me vale mais do que palavras proferidas. Suas contribuições foram fundamentais para nosso resultado. Obrigado pelo tempo dispensado nas viagens e nas várias vezes que sentamos juntos, espero não tê-lo decepcionado, que nossa parceria esteja apenas no início. Obrigado.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Mateus Rodrigues Tonetto, pelas contribuições que engrandeceram o resultado final de nosso trabalho, sempre muito educado e solícito a me atender, muito obrigado pelos ensinamentos.

À secretária do Programa de Mestrado da Universidade de Cuiabá, Cátia Balduino Ferreira, por estar sempre disposta a contribuir com o possível.



RESUMO

RESUMO

A proposta deste trabalho foi analisar *in vitro* a distribuição de forças no osso, processo alveolar e dentes durante a expansão cirúrgica da maxila, usando distratores do tipo Hyrax e palatal pelo método de elementos finitos. Seis modelos de maxila foram gerados com os diferentes distratores, com osteotomias diversas: modelo sem osteotomia com distrator de Hyrax (M1); modelo sem osteotomias com distrator palatal (M2); modelo com osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático e sem a soltura da sutura pterigopalatina com distrator de Hyrax (M3); modelo com osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático e sem a soltura da sutura pterigopalatina com distrator palatal (M4); modelo com osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático e soltando a sutura pterigopalatina com distrator de Hyrax (M5); e modelo com osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático e soltando a sutura pterigopalatina com distrator palatal (M6). Todos os modelos foram submetidos a movimento de expansão de 1 mm, sendo então avaliadas as forças de deslocamento e a tensão nas superfícies. Os modelos M5 e M6 demonstraram maior deslocamento que M3 e M4, sendo que M6 atingiu mais de 2/3 de deslocamento na região anterior da maxila. A tensão principal máxima foi quase nula em M3 e M5, entretanto, mostrou-se semelhante em regiões dos modelos M4 e M6. Baseado na metodologia utilizada, o modelo com o distrator palatal com osteotomia Le Fort I com soltura do processo pterigoide da maxila foi o que apresentou maior deslocamento do osso palatino e processo alveolar, sem nenhum deslocamento dentário.

Palavras-chave: análise elemento finito; expansão de maxila; distrator palatal; distrator Hyrax.



ABSTRACT

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze in vitro, the distribution of forces in the bone, alveolar process and teeth during the surgical maxillary expansion using Hyrax and palatal distractors through the finite element method. Six jaw models were generated with different distractors, with several osteotomies: model without osteotomy with distractor Hyrax (M1); without osteotomy model with palatal distractor (M2); model osteotomy Le Fort I to step in zygomatic pillar region and without the release of pterygopalatine suture distractor Hyrax (M3); model with Le Fort I osteotomy with step in zygomatic pillar region and without the release of pterygopalatine suture with palatal distractor (M4); model with Le Fort I osteotomy with step in zygomatic pillar region and dropping the pterygopalatine suture distractor Hyrax (M5); and model with Le Fort I osteotomy with step in zygomatic pillar region and dropping the pterygopalatine suture with palatal distractor (M6). All models were subjected to 1 mm expansion movement being then evaluated biasing forces and stress on surfaces. The models M5 and M6 shown greater displacement M3 and M4, and M6 reached more than 2/3 of displacement in the anterior maxilla. The maximum principal stress was almost nil in M3 and M5, however showed similar in regions of M4 and M6 models. Based on the methodology used the model with the palatal distractor with Le Fort I osteotomy with release of the pterygoid process of the maxilla, it showed the largest displacement of palatine bone and alveolar process without any tooth displacement.

Keywords: finite element analysis; maxillary expansion; palatal distractor; distractor Hyrax.



LISTA DE TABELAS

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Unidade de medida: GPa, giga Pascal.....	52
Tabela 2 –	Deslocamento total após força 1 mm para os modelos M1, M2, M3, M4, M5, M6 em milímetros (mm).....	53



LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	1a: Modelo virtual da maxila com malha de elementos finitos e distrator de Hyrax; e 1b: Modelo virtual da maxila com malha de elementos finitos e distrator palatal.....	54
Figura 2 –	(A) modelo 1: Sem osteotomia com distrator de Hyrax. (B) modelo 2: Sem osteotomia com distrator palatal. (C) modelo 3: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, sem a soltura da sutura pterigopalatina com distrator de Hyrax. (D) modelo 4: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, sem a soltura da sutura pterigopalatina com distrator palatal. (E) modelo 5: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, soltando a sutura pterigopalatina com distrator de Hyrax. (F) modelo 6: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, soltando a sutura pterigopalatina com distrator palatal.....	55
Figura 3 –	Resultado do deslocamento em M1, M2, M3, M4, M5 e M6...	56
Figura 4 –	Tensão principal máxima em M, M2, M3, M4, M5 e M6.....	57



LISTA DE ABREVIATURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

EF – Elemento Finito

ERCAM – Expansão Rápida Cirurgicamente Assistida das Maxilas



SUMÁRIO

SUMÁRIO

1 ANÁLISE PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DA DISTRIBUIÇÃO DE FORÇAS DURANTE A EXPANSÃO CIRURGICAMENTE ASSISTIDA DAS MAXÍLAS UTILIZANDO DISTRATOR DE HYRAX E PALATAL	19
1.1 INTRODUÇÃO	20
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS	23
1.3 RESULTADOS.....	26
1.3.1 Resultados de deslocamento.....	26
1.3.2 Resultados da tensão principal máxima	27
1.4 DISCUSSÃO	30
1.5 CONCLUSÕES.....	36
1.6 REFERÊNCIAS.....	38
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	42
2.1 REFERÊNCIAS.....	48
ANEXOS.....	52



1 Análise pelo método de elementos finitos da distribuição de forças durante a expansão cirurgicamente assistida das maxilas utilizando distrator de hyrax e palatal



1.1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o modelo mais utilizado para a correção cirúrgica das atresias transversais de maxila é o distrator de Hyrax (de Freitas *et al.*, 2008; Zandi *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2015; Matsuyama *et al.*, 2015; Loddi *et al.*, 2008; Adolphs *et al.*, 2014). Apesar de sua efetividade amplamente conhecida, esse distrator apresenta limitações ao uso em casos de pacientes com edentulismo nos dentes de apoio ou quando estes apresentam doença periodontal significativa (Gauthier *et al.*, 2011). Diante destas situações, os distratores palatais ósseo-suportados vêm conquistando espaço pelo seu exclusivo apoio no osso palatino, independentemente da condição dentária (Lee *et al.*, 2014; Han *et al.*, 2009).

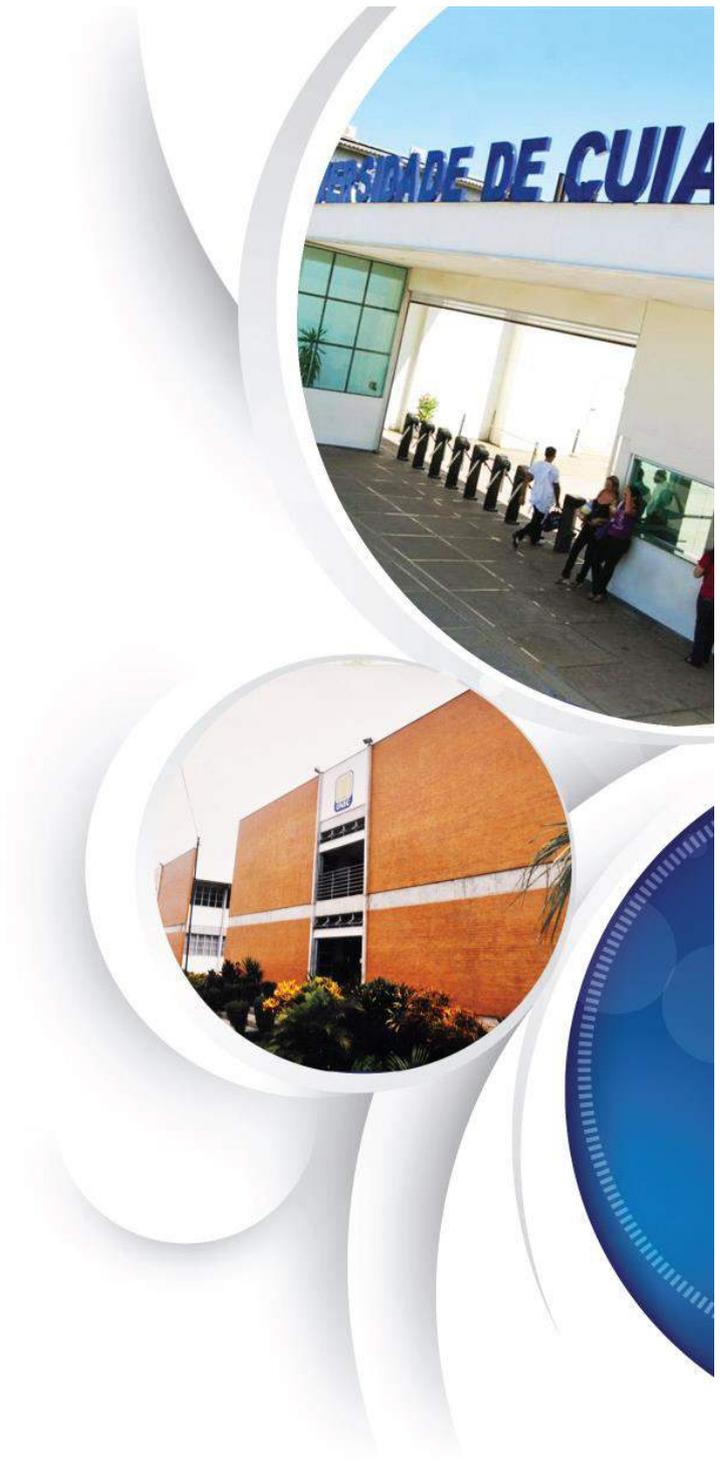
Considerando que a mecânica de apoio dos distratores palatais é variada (tendo suporte em dentes, mucosa e/ou osso), o entendimento das forças de deslocamento e a tensão nos tecidos envolvidos e adjacentes se faz necessário para identificar situações clínicas em que cada distrator seria mais bem indicado ou mesmo contraindicado (de Assis *et al.*, 2013; de Assis *et al.*, 2014; Murakami, 2014).

No entanto, a variabilidade de condição clínica de cada indivíduo e a singularidade de resposta biológica, mesmo que sob o mesmo estímulo, dificultam estudos clínicos comparando o comportamento de cada distrator. Da mesma forma, a escolha por diferentes osteotomias por conta do cirurgião aumenta ainda mais a diversidade na padronização de estudos clínicos (de Assis *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2011; Nada *et al.*, 2012; Jensen *et al.*, 2015; Summer *et al.*, 2012; Gauthier *et al.*, 2011; Loddi *et al.*, 2008).

Diante disso, estudos *in vitro*, de simulação virtual, como o proposto pelo método de elementos finitos, permitem que diferentes variáveis sejam aplicadas a um mesmo modelo para a compreensão mecânica dos fenômenos físicos da técnica, possibilitando, inclusive, que estudos clínicos sejam feitos baseados em tais resultados (de Assis *et al.*, 2013; de Assis *et al.*, 2014 e; Murakami, 2014; Choi *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014; Dalband *et al.*, 2015; Boryor *et al.*, 2008).

O objetivo deste trabalho foi analisar *in vitro* a distribuição de forças no osso, processo alveolar e dentes durante a expansão cirúrgica da maxila, usando distratores do tipo Hyrax e distrator palatal pelo método de elementos finitos. A hipótese nula ao presente estudo é que diferentes padrões de deslocamento e

tensão, independentemente da técnica de osteotomia empregada, seja observada em ambos os modelos de distratores palatais. Este trabalho justifica-se pela necessidade de compararmos os resultados já existentes ao distrator Hass (de Assis *et al.*, 2014) com o modelo mais usado no cotidiano (Hyrax) e outro modelo (ósseo-suportado).



1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, foram usados como referência os modelos de maxila desenvolvidos a partir de dados tomográficos de adultos brasileiros gerados no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), Brasil. O programa para construção dos modelos foi o Rhinoceros 5.0 *software* (McNeel América do Norte, Seattle, WA, EUA), por meio da tecnologia da *computer aided design* (CAD). As geometrias dos modelos foram importadas usando o *software* FEMAP 10.2.0 *software* (Siemens PLM Software, Inc, Plano, TX, EUA), e uma malha de elementos finitos tetraédricos foi gerada para cada modelo (Fig. 1a e 1b). Na etapa final de leitura dos resultados e geração das imagens com os gradientes de cores, foi utilizado o *software* (Noran Engenharia, Inc, Westminster, CA, EUA), e os resultados foram vistos por meio do *software* FEMAP 10.2.0. Sendo assim, considerou-se simetria entre as maxilas e características apropriadas de elasticidade (osso cortical: 17.5; dentes: 20; aço: 210), isotropia, linearidade e homogeneidade aos materiais envolvidos (osso cortical, aço e dente) (Tabela 1). De Assis *et al.*, 2013, e de Assis *et al.*, 2014, usaram metodologia semelhante à deste estudo, porém, utilizaram como modelo de aparelho distrator o do tipo Hass. Além disso, variaram seus modelos em osteotomias do tipo Le Fort I sem degrau, com e sem soltura da sutura pterigopalatina.

A escala de cor é representada em vermelho para quanto maior for o deslocamento visto na franja (1,6 mm), e por azul-escuro para deslocamento nulo (0 mm). As cores intermediárias demonstram a distribuição gradativa do deslocamento pelo caminho a ser percorrido.

Uma única maxila (lado esquerdo) como modelo ao estudo recebeu dois tipos de distratores: distrator dento-suportado de Hyrax e distrator ósseo-suportado palatal. Os eixos de deslocamento do modelo no espaço foram definidos como x (lâtero lateral), z (antero posterior) e y (súpero inferior).

A partir dessas informações foram gerados 6 modelos virtuais (Fig. 2):

- (A) modelo 1: Sem osteotomia com distrator de Hyrax (M1);
- (B) modelo 2: Sem osteotomia com distrator palatal (M2);
- (C) modelo 3: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, sem a soltura da sutura pterigopalatina com distrator de Hyrax (M3);

- (D) modelo 4: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, sem a soltura da sutura pterigopalatina com distrator palatal (M4);
- (E) modelo 5: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, soltando a sutura pterigopalatina com distrator de Hyrax (M5);
- (F) modelo 6: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, soltando a sutura pterigopalatina com distrator palatal (M6).

Os contatos entre a maxila e os distratores se deram por meio dos braços do distrator do tipo Hyrax e os dentes primeiro pré-molar e primeiro molar. No caso do distrator palatal, o contato foi feito diretamente sobre o osso da maxila com a superfície das garras da extremidade móvel do distrator palatal ancorada no palato. Para todos os modelos, foi estabelecido como limite de deslocamento 1 mm.

Nenhuma interferência de tecido mole foi aplicada na simulação, podendo os modelos com osteotomias se movimentar lateralmente sem nenhuma interferência ou resistência. As legendas das tensões foram normatizadas entre (-300 MPa e 700 MPa) e as legendas do deslocamento foram normatizadas entre (0 mm e 1,6 mm). A partir da leitura do software utilizado, puderam-se obter dados em forma de franjas coloridas, nos quais o azul-escuro foi a região sem deslocamento ou tensão, até o vermelho mais intenso representando as regiões de maior deslocamento ou tensão exercida sobre dentes, osso e processo alveolar durante a aplicação das forças.



1.3 RESULTADOS

1.3 RESULTADOS

1.3.1 Resultados de deslocamento

No modelo M1, observou-se que a força de deslocamento se dá no corpo e no início dos braços em direção aos dentes, aproximadamente a metade do deslocamento total, chegando ao osso alveolar e dentes praticamente com 1/3 da força inicial exercida. A cor verde-clara em transição para verde-escura pode ser observada na cinta metálica na região palatina do primeiro pré-molar, cúspide vestibular em direção à face distal e cúspide palatina em direção à face distal do mesmo, assim como na ponta da cúspide méso-palatina do primeiro molar. A região anterior da maxila, sutura palatina e sutura pterigoide continuaram com a cor azul-escuro, sugerindo que a força de deslocamento exercida não foi suficiente para deslocar essas estruturas (Fig 3; Tab. 2).

No modelo M2, observou-se a força de deslocamento de aproximadamente 1 mm sendo exercida no corpo do distrator palatal e na região posterior de seu braço. Segue com menor deslocamento no osso alveolar na região palatina e vestibular do primeiro molar, perdendo força gradativamente no osso alveolar da região de primeiro pré-molar, sutura pterigopalatina, sutura intermaxilar e região anterior de maxila (Fig 3; Tab. 2).

No modelo M3, observou-se que a força de deslocamento atingiu seu pico máximo no 1/3 posterior do corpo do distrator de Hyrax, perdendo um pouco de força no 1/3 médio e anterior. A escala de cor segue reduzindo em um degradê contínuo, da cor vermelha até azul-escuro, do início dos braços em direção aos dentes, chegando até esses com tons de azul-escuro demonstrando que, praticamente, não houve deslocamento nessas regiões. Quatro franjas em tons de azul mais claro até o azul mais escuro se formaram a partir da região anterior da maxila até a sutura pterigopalatina (Fig. 3; Tab. 2).

No modelo M4, observou-se praticamente o mesmo deslocamento do modelo M2, porém com uma franja na cor azul mais clara desde a região anterior da maxila, passando pelo pré-molar, processo alveolar e molar, demonstrando um maior deslocamento da região anterior (Fig. 3; Tab. 2).

No modelo M5 (Fig. 3), observou-se que a força de deslocamento atingiu seu pico máximo em uma fina franja no 1/3 posterior do corpo do distrator de Hyrax,

perdendo força no 1/3 médio e anterior, onde já é possível observar a cor amarela. A escala de cor segue reduzindo por meio do braço do distrator em um degradê contínuo da cor vermelha no 1/3 posterior, e amarela no 1/3 anterior, até tons de azul chegando aos dentes, demonstrando que, praticamente, não houve deslocamento nessas regiões. A maxila ficou claramente marcada por franjas que vão do verde-claro na região anterior até uma zona de fulcro em azul-escuro na região posterior e sutura pterigopalatina.

No modelo M6, observou-se inúmeras franjas de tamanhos menores que os modelos anteriores, com um degradê de cores variando entre o verde e o amarelo até o azul-escuro na região anterior da maxila até a sutura pterigopalatina, respectivamente. O 1/3 anterior da maxila na região do processo alveolar, de anterior para posterior, incluindo o primeiro pré-molar, demonstrou deslocamento de mais da metade da força exercida, assim como o corpo do distrator palatal e seu braço de apoio no osso. Isso demonstra que, para a mesma força de compressão exercida nos modelos anteriores, a estrutura da maxila já inicia o deslocamento na região anterior, sem nenhuma força exercida diretamente aos dentes e com um ponto fixo de rotação da maxila em sua região mais posterior, demonstrado por um círculo azul-escuro na junção com a sutura pterigomaxilar (Fig. 3; Tab. 2).

1.3.2 Resultados da tensão principal máxima

A tensão máxima principal em M1 (Fig. 4) se deu no osso alveolar nas regiões palatina e distal do primeiro pré-molar, em alguns pontos na região mésio-palatina do primeiro molar, palato duro entre o primeiro pré-molar e o primeiro molar, em alguns pontos da sutura intermaxilar na região anterior e em um ponto isolado na região de sutura pterigopalatina.

A tensão máxima principal em M2 se deu em alguns pontos no parafuso de sustentação do braço do distrator palatal e, com grande intensidade, na região do processo alveolar palatino entre o primeiro pré-molar e o primeiro molar em direção à sutura intermaxilar, diminuindo a intensidade de cor gradativamente. Um pequeno ponto no rebordo alveolar vestibular do primeiro molar também pode ser observado (Fig. 4).

As tensões principais máximas em M3 e M5 praticamente não existiram,

tendo apenas pequeno ponto verde-claro no final da osteotomia intermaxilar em ambas simulações (Fig. 4).

As tensões principais máximas em M4 e M6 deram-se de forma muito semelhante. Pontos vermelhos foram observados nas garras dos braços móveis que estão em contato direto com a superfície óssea da maxila. Observaram-se, também, pontos vermelhos ao redor dos parafusos de estabilização desses braços, ao final do processo alveolar palatino e ao início do palato duro em direção à região final da osteotomia intermaxilar, podendo-se encontrar, nesse trajeto, forte tendência a forças máximas de tensão demonstradas pelas cores verde-escura e alaranjada em grande parte da região circunvizinha. O modelo M6 demonstrou um trajeto de tensão maior nesse trajeto até o ponto fixo da sutura intermaxilar (Fig. 4).



1.4 DISCUSSÃO

1.4 DISCUSSÃO

A ERCAM, em pacientes adultos, é bastante sugerida na literatura devido ao fato de que, com a idade, os pilares e as estruturas craniofaciais tornam-se mais rígidos e a sutura intermaxilar encontra-se completamente consolidada (Seeberger *et al.*, 2011; Gauthier *et al.*, 2011), limitando-se, para esse procedimento, a escolha tanto da técnica de osteotomia como do distrator ideal, mediante avaliações clínicas e radiográficas (Seeberger *et al.*, 2011; Zandi *et al.*, 2014;).

Para maior estabilidade dos movimentos cirúrgicos e abertura da região posterior da maxila, se faz necessária a soltura completa dos pilares de sustentação da face, como pilar zigomático, sutura palatina mediana, inclusive a sutura pterigopalatina (Summer *et al.*, 2012). Porém, Seeberger *et al.*, 2011, divergiram, ressaltando que, mesmo sem essa abordagem, é possível clinicamente obter estabilidade dos movimentos.

Han *et al.*, 2009, consideraram os distratores ósseo-suportados muito superiores aos que apresentam apoio dental, ficando suas desvantagens relacionadas apenas ao alto custo e à necessidade de um segundo momento cirúrgico para sua remoção.

A vantagem do uso dos distratores palatais frente aos dento-suportados, ou dento-muco-suportados, se dá pela ausência na mudança de posição dentária, reabsorções da tábua óssea vestibular e fenestração vestibular das raízes dentárias (Adolphs *et al.*, 2014; Seeberger *et al.*, 2011; Zandi *et al.*, 2014; Vassar *et al.*, 2015; Matsuyama *et al.*, 2015).

Dalband *et al.*, 2015, em seu estudo das distribuições de tensão na maxila em ERCAM por meio do uso de elementos finitos, relataram que não houve diferença de concentração de tensão usando dispositivos dento-suportados com ósseo-suportados. Esses resultados concordam com nossos achados para os distratores de Hyrax quando simuladas osteotomias com degrau, sem e com a soltura da sutura pterigomaxilar. Porém, divergiram dos nossos achados, já que, nos modelos M2 e M6 a tensão principal máxima está localizada entre o rebordo alveolar e palato duro, entre o primeiro pré-molar e primeiro molar e discreta a tensão encontrada na região cervical do rebordo alveolar apenas por vestibular no primeiro molar. O distrator de Hyrax demonstrou, também, áreas de tensão na região anterior

da maxila, discreta área na região de sutura pterigomaxilar.

Em nosso estudo, abertura transversal no distrator do tipo Hyrax e distrator palatal foi maior na região posterior se comparada à região anterior em maxilas sem osteotomias, concordando com Lee *et al.*, 2014. E nos modelos com osteotomias na sutura intermaxilar, sutura pterigopalatina e osteotomias Le Fort I sem degrau, por óbvio, foi observada maior quantidade de expansão transversal. Esses achados corroboram com os achados em nosso estudo, principalmente quando utilizamos o distrator palatal nos modelos com osteotomias na sutura intermaxilar, sutura pterigopalatina e osteotomias Le Fort I com degrau.

O deslocamento lateral dos dentes do nosso trabalho pode ser observado com 1 mm de ativação, quando usados distratores dento-suportados, concordando com os estudos de Matsuyama *et al.*, 2015. As cúspides dos dentes, cujo distrator de Hyrax foi ancorado no modelo hígido M1, parecem iniciar seu deslocamento para fora do arco. A abertura maior na região anterior, se comparada à região posterior, nos modelos com distratores dento-suportados em nosso estudo concordam com Matsuyama *et al.*, 2015. Já as distribuições de tensões deste trabalho divergem com Matsuyama *et al.*, 2015, as quais demonstraram as maiores tensões na região zigomático-alveolar e sutura pterigomaxilar, ao passo que, no presente trabalho, as tensões máximas se concentraram na transição do processo alveolar por palatino, em direção ao palato duro e sutura intermaxilar, provavelmente motivadas pelo terço posterior dos nossos modelos não estar com osteotomia completa.

O maior deslocamento observado no modelo com distrator dento-suportado sem osteotomia, em nosso trabalho, deu-se no corpo do distrator, assim como o estudo de Assis *et al.*, 2014. Quando os modelos utilizando distrator de Hyrax foram submetidos à osteotomia Le Fort I com degrau em pilar zigomático e osteotomia da sutura pterigomaxilar em uma abertura de 1 mm, nosso estudo demonstrou, também, o início do deslocamento da região anterior da maxila, no primeiro pré-molar e primeiro molar. Porém, nos modelos nos quais a única variável foi a ausência da ruptura da sutura pterigopalatina, praticamente não se observou deslocamento da maxila, provavelmente pela maior resistência ao deslocamento na presença da sutura pterigopalatina hígida.

A tensão máxima principal no modelo M1 deu-se no osso alveolar na região palatina e distal do primeiro pré-molar, alguns pontos na região méso-

palatina do primeiro molar, corroborando, em partes, com os resultados de Assis *et al.*, 2013, que, apesar de semelhantes, aparecem de maneira mais sutil na escala de cor quando comparados aos nossos. Quando os modelos foram submetidos às osteotomias com ou sem a soltura da sutura pterigopalatina, ambos os trabalhos demonstraram praticamente a inexistência de tensões nessas mesmas regiões. Porém, em nossos modelos que utilizaram o distrator ósseo-suportado, pudemos observar significativas áreas de tensão tanto no modelo sem soltura da sutura pterigopalatina, M4, como no modelo com a soltura da sutura pterigopalatina, M6.

Em dois estudo de distribuição de tensão por meio de EF na ERCAM com um expensor dento-suportado (Boryor *et al.*, 2008; Lima *et al.*, 2011), foi observado que, antes de se fazer a separação dos pilares faciais, as forças foram distribuídas para regiões de processos alveolares, dentes de suporte, órbita, pilar zigomático, sutura zigomático-frontal e parede zigomático-maxilar. Na região anterior, as forças foram distribuídas ao processo frontal da maxila, parede medial da órbita, ossos nasais e também na sutura mediana maxilar. Após a separação dos pilares da maxila, observou-se significativa redução de tensão nas paredes zigomático-maxilares, contudo, após 6 a 12 ativações, notou-se maior tensão na região de túber da maxila e processo pterigoide da maxila. Após a separação do processo pterigoide, a tensão sobre os molares, túber da maxila e processo pterigoide diminuiu consideravelmente. Tais achados estão de acordo com nossos resultados para o distrator do tipo Hyrax com ou sem a soltura das suturas pterigopalatinas M3 e M5, e com pontos de tensão ao redor do parafuso, ganchos de estabilização em direção à sutura intermaxilar para os modelos que utilizaram distratores palatais M4 e M6.

Nossos resultados demonstraram que, com 1 mm de abertura, soltando todos os pilares de sustentação da face, foi possível haver deslocamento maior da região anterior com diminuição gradativa em direção posterior da maxila com o distrator palatal, concordando com Han *et al.*, 2009, que, utilizando técnica de EF, demonstrou que, quando foram soltos todos os pilares da face, incluindo a disjunção da sutura pterigopalatina, foi possível aumentar a expansão sem comprometer estruturas periodontais de suporte e dente. O distrator de Hyrax, nessas mesmas condições, apresentou um deslocamento de pouco mais da metade da força aplicada na região anterior da maxila, não sendo suficiente para transferir essa força

para os dentes e estruturas periodontais.

Os locais das osteotomias também é assunto de ampla discussão na literatura. Alguns estudos priorizam sempre osteotomias do tipo Le Fort I subtotal, passando pelo pilar canino e pilar zigomático, incluindo osteotomias na sutura pterigopalatina e na sutura palatina mediana, com separação entre as raízes dos incisivos centrais superiores e região de espinha nasal anterior (Gautam *et al.*, 2007; Seeberger *et al.*, 2011; Gauthier *et al.*, 2011; Dalband *et al.*, 2015). Já Reinbacher *et al.*, 2013, relataram que a soltura cirúrgica do septo nasal foi insignificante nas medidas pré e pós-operatórias em expansões não muito grandes, ficando essa etapa cirúrgica a ser considerada a critério do tamanho da expansão que se pretende, para fins de evitar o desvio de septo após a ERCAM.

Por meio da interpretação das cores, é possível observar que, apesar dos modelos gerados não terem continuidade das estruturas cranianas adjacentes, parece claro que as forças exercidas em ambos distratores se dissipam para as estruturas que se relacionam com a maxila.

O padrão de abertura na região anterior da maxila, maior que na região posterior, parece estar relacionado à posição do parafuso distrator em relação ao centro de resistência do primeiro molar superior. A abertura paralela da sutura se mostrou mais eficaz nas expansões cirúrgicas e com uso de distratores com aplicação de forças diretamente na região palatina (Matsuyama *et al.*, 2015), o que vai contra os resultados encontrados por Loddi *et al.*, 2008, usando expansores Hyrax e Hass e obtendo abertura da sutura palatina de forma paralela.

Uma significativa inclinação dentária pôde ser observada nos estudos de Han *et al.*, 2009, com o uso do distrator de Hyrax, principalmente na região anterior e de pré-molares em detrimento a outras estruturas, mesmo com a disjunção da sutura pterigopalatina. Já Brunetto *et al.*, 2013, em um estudo chamado de expansão maxilar rápida em 2 ativações diárias de 0,4 mm, e expansão maxilar lenta em 2 ativações semanais de 0,4 mm até que ambas atingissem 8mm de expansão, demonstraram que, em todos os casos nos quais foram usados aparelhos dento-muco-suportado do tipo Hass sem disjunção óssea, houve maior inclinação das coroas dos primeiros molares nos casos de expansão rápida, se comparadas às expansões lentas, sugerindo que a grande quantidade de força gerada pode influenciar na inclinação dentária, contudo, as maiores alterações periodontais se

deram nas expansões lentas.

Segundo Gurgel *et al.*, 2012, a neoformação óssea se dá de forma perpendicular às bordas de osteotomias em direção ao centro, sendo um período de 3 meses suficiente para a remoção do expansor e instalação de um dispositivo de contenção móvel, ou uma barra palatina até o período de 6 meses com a completa formação óssea, período usualmente encontrado nas referências estudadas (Jensen *et al.*, 2015; Zandi *et al.*, 2014), divergindo de Jansen *et al.*, 2015, que preconizaram a remoção do distrator após 4 meses de pós-operatório.

O método utilizado nesse estudo traz como vantagem principal as possibilidades de alteração das pesquisas sem prejudicar as amostras analisadas e conseguir *in vitro* a quantidade necessária de amostras semelhantes, porém, se limita na dificuldade de equacionar a resistência imposta pelos tecidos moles presentes na arquitetura facial.

As diferenças encontradas nos resultados estão relacionadas aos diferentes distratores utilizados neste estudo e aos diferentes modelos com e sem osteotomias com as quais esses dispositivos foram testados.

As perspectivas com esses estudos são no sentido de se fomentar estudos clínicos para subsidiados pela evidência *in vitro* e novas pesquisas que permitam avaliar a influência da espessura de diferentes osteotomias nas tensões geradas nas maxilas.



1.5 CONCLUSÕES

1.5 CONCLUSÕES

Baseado na metodologia utilizada, o modelo com o distrator palatal com osteotomia Le Fort I com soltura do processo pterigoide da maxila foi o que apresentou maior deslocamento do osso palatino e processo alveolar, sem nenhum deslocamento dentário e maior tensão dentre todos os modelos com osteotomia.



1.6 REFERÊNCIAS

1.6 REFERÊNCIAS

- de Freitas RR, Gonçalves AJ, Moniz NJ, Maciel FA. Surgically assisted maxillary expansion in adults: prospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2008 Sep;37[9]:797-804.
- Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A. Short-term skeletal and dental changes following bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial study. *JCraniomaxillofac Surg*. 2014 Oct;42(7):1190-5.
- Park KN, Lee CY, Park IY, Kim JY, Yang B. Surgically assisted rapid palatal expansion with tent screws and a custom-made palatal expander: a case report. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*. 2015 Mar 21;37(1):11.
- Matsuyama Y, Motoyoshi M, Tsurumachi N, Shimizu N. Effects of palate depth, modified arm shape, and anchor screw on rapid maxillary expansion: a finite element analysis. *Eur J Orthod*. 2015 Apr;37(2):188-93.
- Loddi PP, Pereira MD, Wolosker AB, Hino CT, Kreniski TM, Ferreira LM. Transverse effects after surgically assisted rapid maxillary expansion in the midpalatal suture using computed tomography. *J Craniofac Surg*. 2008 Mar;19(2):433-8.
- Adolphs N, Ernst N, Menneking H, Hoffmeister B. Transpalatal distraction--state of the art for the individual management of transverse maxillary deficiency--a review of 50 consecutive cases. *J Craniomaxillofac Surg*. 2014 Dec;42(8):1669-74.
- Gauthier C, Voyer R, Paquette M, Rompré P, Papadakis A. Periodontal effects of surgically assisted rapid palatal expansion evaluated clinically and with cone-beam computerized tomography: 6-month preliminary results. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011 Apr;139(4 Suppl):S117-28.
- Lee, S. C., J. H. Park, M. Bayome, K. B. Kim, E. A. Araujo and Y. A. Kook (2014). Effect of bone-borne rapid maxillary expanders with and without surgical assistance on the craniofacial structures using finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 145 (5): 638-648.
- Han UA, Kim Y, Park JU. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg*. 2009 Apr;37(3):145-54.
- de Assis, D. S., T. A. Xavier, P. Y. Noritomi, A. G. Goncales, O. Ferreira, Jr., P. C. de Carvalho and E. S. Goncales (2013). Finite element analysis of stress distribution in anchor teeth in surgically assisted rapid palatal expansion. *Int J Oral Maxillofac Surg* 42(9): 1093-1099.
- de Assis, D. S., T. A. Xavier, P. Y. Noritomi and E. S. Goncales (2014). Finite element analysis of bone stress after SARPE. *J Oral Maxillofac Surg* 72(1): 167 e161-167.
- Murakami N, Wakabayashi N. Finite element contact analysis as a critical technique in dental biomechanics: a review. *J Prosthodont Res*. 2014 Apr;58(2):92-101.

- Lima SM Jr, de Moraes M, Asprino L. Photoelastic analysis of stress distribution of surgically assisted rapid maxillary expansion with and without separation of the pterygomaxillary suture. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Jun;69(6):1771-5.
- Nada RM, Fudalej PS, Maal TJ, Bergé SJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. Three-dimensional prospective evaluation of tooth borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg.* 2012 Dec;40(8):757-62.
- Jensen T, Johannesen LH, Rodrigo-Domingo M. Periodontal changes after surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME). *Oral Maxillofac Surg.* 2015 May 23.
- Sumer AP, Ozer M, Sumer M, Danaci M, Tokalak F, Telcioglu NT. Ultrasonography in the evaluation of midpalatal suture in surgically assisted rapid maxillary expansion. *J Craniofac Surg.* 2012 Sep;23(5):1375-7.
- Choi AH, Conway RC, Ben-Nissan B. Finite-element modeling and analysis in nanomedicine and dentistry. *Nanomedicine (Lond).* 2014 Aug;9(11):1681-95.
- Dalband M, Kashani J, Hashemzahi H. Three-Dimensional Finite Element Analysis of Stress Distribution and Displacement of the Maxilla Following Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion with Tooth- and Bone-Borne Devices. *J Dent(Tehran).* 2015 Apr;12(4):298-306.
- Boryor A, Geiger M, Hohmann A, Wunderlich A, Sander C, Martin Sander F, Sander FG. Stress distribution and displacement analysis during na intermaxillary disjunction--a three-dimensional FEM study of a human skull. *J Biomech.*2008;41(2):376-82.
- Seeberger R, Kater W, Schulte-Geers M, Davids R, Freier K, Thiele O. Changes after surgically-assisted maxillary expansion (SARME) to the dentoalveolar, palatal and nasal structures by using tooth-borne distraction devices. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Jul;49(5):381-5.
- Vassar JW, Karydis A, Trojan T, Fisher J. Dentoskeletal effects of a temporary skeletal anchorage device-supported rapid maxillary expansion appliance (TSADRME): A pilot study. *Angle Orthod.* 2016 Mar;86(2):241-9.
- Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite elemento method study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Jul;132(1):5.e1-11.
- Reinbacher KE, Wallner J, Pau M, Feichtinger M, Kärcher H, Quehenberger F, Zemmann W. Surgically assisted rapid maxillary expansion: feasibility of not releasing the nasal septum. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2013 Mar;42(3):321-5.
- Brunetto M, Andriani Jda S, Ribeiro GL, Locks A, Correa M, Correa LR. Three-dimensional assessment of buccal alveolar bone after rapid and slow maxillary expansion: a clinical trial study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 May;143(5):633-44.
- Gurgel Jde A, Malmström MF, Pinzan-Vercelino CR. Ossification of the midpalatal suture after surgically assisted rapid maxilar expansion. *Eur J Orthod.* 2012

Feb;34(1):39-43.



2 REVISÃO DE LITERATURA

2 REVISÃO DE LITERATURA

A atresia dos maxilares é considerada uma anomalia do desenvolvimento craniofacial, e apresenta, como origens, a obstrução das vias aéreas superiores, hábitos de sucção de chupeta, dedo e/ou mamadeira, pressionamento lingual atípico, perda dentária precoce, deficiência transversal maxilar, assimetrias esqueléticas e discrepâncias esqueléticas anteroposteriores (Gautam *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2011).

Clinicamente, a atresia dos maxilares é caracterizada pela presença de mordida cruzada posterior uni ou bilateral, forma cônica do arco dental e apinhamento. Essa manifestação pode ter repercussão direta na higiene, deficiência respiratória e alterações articulares (Park *et al.*, 2015; Carneiro *et al.*, 2013; de Assis *et al.*, 2014; Jensen *et al.*, 2015; Lima Junior *et al.*, 2011; Han *et al.*, 2009, Zandi *et al.*, 2014; Gauthier *et al.*, 2011), comumente associadas à oclusão do tipo classe III de Angel (Gautam *et al.*, 2007; Pavoni *et al.*, 2015).

A correção desse tipo de alteração se dá por meio do uso de distratores palatais, em jovens sem maturação do esqueleto facial, ou, preferencialmente, utilizando técnicas de expansão rápida cirurgicamente assistida das maxilas (ERCAM) em indivíduos adultos (Gungor *et al.*, 2012; Brunetto *et al.*, 2013; Jensen *et al.*, 2015; Sumer *et al.*, 2012; Gauthier *et al.*, 2011; Dalband *et al.*, 2015).

Diversos estudos mostram diferentes técnicas para a expansão cirúrgica da maxila com deficiência transversal (de Freitas *et al.*, 2008; Cortese *et al.*, 2013). A idade e a formação óssea são algumas das formas de seleção de qual seria a melhor técnica indicada (Cortese *et al.*, 2013). Crianças e adolescentes em crescimento podem ser submetidos à expansão cirúrgica ortodôntica convencional com relativo sucesso (Carneiro *et al.*, 2013; Zandi *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2015; Matsuyama *et al.*, 2015; Loddi *et al.*, 2008; Bellerive *et al.*, 2015), entretanto, para adolescentes, adultos ou pacientes cuja fusão das suturas faciais já ocorreu, está indicada a ERCAM (Gungor *et al.*, 2012; de Assis *et al.*, 2014; Gurgel *et al.*, 2012; Gautam *et al.*, 2007; Nada *et al.*, 2012; Rana *et al.*, 2013; Summer *et al.*, 2012; Reinbacher *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014; Habersack *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2015; Zandi, *et al.*, 2014; Gauthier *et al.*, 2011; Loddi *et al.*, 2008; Kurt *et al.*, 2010).

A ERCAM é geralmente realizada com distratores de apoio dental

associados ou não a apoio na mucosa palatina (i.e. Hyrax e Hass), porém, há hoje, a disponibilidade de distratores com apoio exclusivamente no osso palatino, uma opção viável aos casos que apresentem limitações de apoio dental, como doença periodontal ou edentulismo. Já há alguns anos, os distratores palatais com apoio exclusivamente ósseo surgiram como mais uma opção coadjuvante ao tratamento cirúrgico, prometendo ser uma alternativa para pacientes periodontalmente comprometidos (Adolphs *et al.*, 2014; Cortese *et al.*, 2013; Nada *et al.*, 2012; Adolphs *et al.*, 2014;) e evitando complicações de reabsorções ósseas vestibulares e dentes, assim como exposições vestibulares das raízes que suportam os distratores (Dindaroğlu *et al.*, 2015; Zandi *et al.*, 2014). Esses modelos de distratores ortopédicos, apesar de eficientes, ainda apresentam custo elevado se comparados a outros modelos, e com a necessidade de uma segunda intervenção para sua remoção (Zandi *et al.*, 2014). Assim, torna-se importante o entendimento dos diferentes padrões de distribuições de forças causados pelos diferentes distratores, tanto nos dentes como no processo alveolar e osso adjacente, permitindo, assim, que o cirurgião tenha subsídios para a escolha do distrator mais indicado para cada caso.

Quando, ao invés da ERCAM, opta-se pela expansão não cirúrgica em adultos, frequentemente os dispositivos utilizados são os aparelhos de Hyrax e Hass (de Freitas *et al.*, 2008; Zandi *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2015; Matsuyama *et al.*, 2015; Loddi *et al.*, 2008; Adolphs *et al.*, 2014;). Esses dispositivos exercem grande parte de suas forças em dentes e estruturas periodontais, podendo causar, como consequências, alterações de posições de raízes dentárias, exposições radiculares por reabsorções da tábua óssea vestibular, reabsorções dentárias, chegando até à perda da vitalidade de alguns dentes e alterações na fala (Kurt *et al.* 2010; Brunetto *et al.*, 2013; Zandi *et al.*, 2014; Dalband *et al.* 2015; Jensen *et al.*, 2015; Martins *et al.* 2016). Complicações de diferentes níveis de gravidade podem ocorrer na ERCAM, como, por exemplo, dor, reabsorções radiculares, soltura dos aparelhos expansores, epistaxes, sinusites, resseção gengival, problemas periodontais, perda da cortical óssea vestibular, ulcerações dos tecidos no pós-operatório, até complicações mais graves, como fraturas de base de crânio com paralisia do nervo oculomotor (Dindaroğlu *et al.*, 2015; Rana *et al.*, 2013; Carneiro *et al.*, 2013; Habersack *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2015).

Para que tenhamos uma melhor estabilidade de resultado da ERCAM, a técnica cirúrgica, frequentemente sob anestesia geral, preconiza a realização de uma osteotomia Le Fort I com soltura completa dos pilares de sustentação da face como pilar zigomático, sutura palatina mediana e, inclusive, a sutura pterigomaxilar (de Assis *et al.*, 2014; Lima *et al.* 2011; Nada *et al.*, 2012.; Jensen *et al.*, 2015; 1994; Summer *et al.*, 2012; Gauthier *et al.*, 2011; Loddi *et al.*, 2008; Villa *et al.*, 2015). Outros autores ressaltam que, mesmo sem a soltura completa dos pilares de sustentação da face, é possível clinicamente obtermos estabilidade dos movimentos (Seeberger *et al.*, 2011; Adolphs *et al.*, 2014). Ainda, a abordagem ou não do septo ósseo é ponto de discussão entre os que executam esse tipo de técnica (Reinbacher *et al.*, 2013).

Estudos, como o de Kurt *et al.*, 2010, sugerem a utilização de expansão cirúrgica sob anestesia local com osteotomia horizontal da abertura piriforme até fissura pterigomaxilar, osteotomia na sutura palatina, sem a soltura do processo pterigoide e septo nasal.

A expansão cirúrgica da maxila, independentemente do distrator ósseo, é uma técnica não tão recente, com maior difusão no fim do século XIX. Entretanto, poucos estudos compararam os efeitos desses dispositivos em dentes e estruturas de suporte, em especial, analisando-se os diferentes tipos de distratores (Zandi *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2016).

Gurgel *et al.*, 2012, realizaram um estudo comparativo entre radiografias oclusais no pré e pós-operatório de até 120 dias sobre a formação óssea no pós-operatório da ERCAM. Nessa análise, que se deu com radiografias do pós-operatório imediato até o período de 120 dias, observou-se que, se comparado ao estágio inicial até esse período analisado, não houve a mesma formação ou densidade óssea observada no pré-operatório.

As avaliações das estruturas periodontais de suporte e dentes por meio de métodos de captação volumétrica de imagem vêm sendo grandes aliadas para a comparação das possíveis alterações pré e pós-operatórias (Dindaroğlu *et al.*, 2015; Nada *et al.*, 2012; Brunetto *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014; Gauthier *et al.*, 2011).

Em um estudo realizado por Habersack *et al.*, 2014, foram comparadas expansões cirúrgicas utilizando um método de disjunção da maxila em dois ou três

segmentos, sendo essa disjunção produzida por meio da realização de um abaixamento cirúrgico da maxila (*down fracture*), e analisadas as diferenças das distâncias lineares intercaninos e intermolares no pós-operatório de até um ano. A conclusão desse estudo foi de que, na região de molares, durante todo o pós-operatório de um ano, não houve diferença estatisticamente significativa, sendo concluído que qualquer das técnicas comparadas é efetiva para correções de alterações horizontais de maxila.

Outro método por meio da utilização de ultrassonografia das suturas palatinas foi utilizado para acompanhar a neoformação óssea em pacientes submetidos à ERCAM. Esse método demonstrou eficácia para avaliação de cirurgias em ossos longos e nas distrações ósseas da mandíbula, podendo ser útil e preciso para análises da formação óssea neste procedimento (Sumer *et al.*, 2012).

Dentre as técnicas *in vitro* de avaliação da mecânica da ERCAM, destaca-se o método de Elementos Finitos (EF). Tal metodologia permite a leitura por meio de um conjunto de software e computadores, das tensões externas aplicadas sobre uma superfície de tecido duro ou mole (Murakami, 2014). O estudo de EF foi introduzido pela primeira vez em 1943, por Richard Courant, e amplamente aplicado na engenharia, mas foi na década de 1970 que foi utilizado para análise da biomecânica ortopédica. Vem ganhando significativo espaço na odontologia para análise de reabsorções e deposições ósseas, consolidação de fraturas, propriedades de materiais biologicamente compatíveis, entre outros (de Assis *et al.*, 2013; de Assis *et al.*, 2014 e; Murakami, 2014; Choi *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014; Dalband *et al.*, 2015). O uso dos estudos de EF tem se mostrado um aliado na análise da distribuição de tensões a partir de uma força aplicada sobre uma estrutura óssea e as regiões de reabsorção e neoformação óssea (Boryor *et al.*, 2008).

O conceito desse método normalmente baseia-se na representação tridimensional do objeto a ser analisado, permitindo assim mantermos próximos de suas características primárias, transformando um modelo físico em conjunto de elementos de menores dimensões de finitos elementos ligados entre si por nós, formando, assim, uma malha virtual da estrutura a ser analisada (Choi *et al.*, 2014).

Esse método permite que seja replicada uma condição dos tecidos muito próxima ao tecido vivo, sem procedimentos invasivos, permitindo criar diferentes

variações de estudo com a mesma amostra. Outra vantagem é a possibilidade de se mudar a metodologia da pesquisa quando necessário, sem comprometer as amostras utilizadas (Trivedi, 2014).

Murakami, 2014, chama atenção para a possibilidade de analisar estruturas de uma forma não linear por meio da leitura dos segmentos entre os “nós” em qualquer direção da malha. Isso parece ser um avanço se comparado às outras técnicas de análises lineares de distribuição de forças, já que o organismo vivo se comporta de forma dinâmica e não estática.

Em contrapartida, uma das limitações desse modelo de estudo se dá na construção das malhas que reproduzem as geometrias mais complexas. Conseguir a reprodução mais próxima do elemento real a ser avaliado, reproduzindo as partes menores e simulando as mesmas propriedades estruturais, pode se tornar um desafio, possibilitando um viés nos resultados se esses fatores importantes na fase de construção virtual dos modelos forem negligenciados (Choi *et al*, 2014).



2.1 REFERÊNCIAS

2.1 REFERÊNCIAS

- Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element method study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Jul;132(1):5.e1-11.
- Lima SM Jr, de Moraes M, Asprino L. Photoelastic analysis of stress distribution of surgically assisted rapid maxillary expansion with and without separation of the pterygomaxillary suture. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Jun;69(6):1771-5.
- Park KN, Lee CY, Park IY, Kim JY, Yang B. Surgically assisted rapid palatal expansion with tent screws and a custom-made palatal expander: a case report. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2015 Mar 21;37(1):11.
- de Assis, D. S., T. A. Xavier, P. Y. Noritomi and E. S. Goncales (2014). Finite element analysis of bone stress after SARPE. *J Oral Maxillofac Surg* 72(1): 167 e161-167.
- Jensen T, Johannesen LH, Rodrigo-Domingo M. Periodontal changes after surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME). *Oral Maxillofac Surg.* 2015 May 23.
- Han UA, Kim Y, Park JU. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg.* 2009 Apr;37(3):145-54.
- Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A. Short-term skeletal and dental changes following bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2014 Oct;42(7):1190-5.
- Gauthier C, Voyer R, Paquette M, Rompré P, Papadakis A. Periodontal effects of surgically assisted rapid palatal expansion evaluated clinically and with cone-beam computerized tomography: 6-month preliminary results. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 Apr;139(4 Suppl):S117-28.
- Pavoni C, Masucci C, Cerroni S, Franchi L, Cozza P. Short-term effects produced by rapid maxillary expansion and facemask therapy in Class III patients with different vertical skeletal relationships. *Angle Orthod.* 2015 Nov;85(6):927-33.
- Gungor AY, Türkkahraman H, Baykul T, Alkis H. Comparison of the effects of rapid maxillary expansion and surgically assisted rapid maxillary expansion in the sagittal, vertical, and transverse planes. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2012 Mar 1;17(2)
- Brunetto M, Andriani Jda S, Ribeiro GL, Locks A, Correa M, Correa LR. Three-dimensional assessment of buccal alveolar bone after rapid and slow maxillary expansion: a clinical trial study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 May;143(5):633-44.
- Sumer AP, Ozer M, Sumer M, Danaci M, Tokalak F, Telcioglu NT. Ultrasonography in the evaluation of midpalatal suture in surgically assisted rapid maxillary expansion. *J Craniofac Surg.* 2012 Sep;23(5):1375-7.
- Dalband M, Kashani J, Hashemzahi H. Three-Dimensional Finite Element Analysis of

Stress Distribution and Displacement of the Maxilla Following Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion with Tooth- and Bone-Borne Devices. *J Dent(Tehran)*. 2015 Apr;12(4):298-306.

de Freitas RR, Gonçalves AJ, Moniz NJ, Maciel FA. Surgically assisted maxillary expansion in adults: prospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2008 Sep;37[9]:797-804.

Cortese A, Savastano M, Cantone A, Claudio PP. A new palatal distractor device for bodily movement of maxillary bones by rigid self-locking miniplates and screws system. *J Craniofac Surg*. 2013 Jul;24[4]:1341-6.

Carneiro JT Jr, Paschoal EH, Carreira AS, Real RP. Carotid cavernous fistula after surgically assisted rapid maxillary expansion with a bone anchored appliance. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2013 Mar;42(3):326-8.

Matsuyama Y, Motoyoshi M, Tsurumachi N, Shimizu N. Effects of palate depth, modified arm shape, and anchor screw on rapid maxillary expansion: a finite element analysis. *Eur J Orthod*. 2015 Apr;37(2):188-93.

Loddi PP, Pereira MD, Wolosker AB, Hino CT, Kreniski TM, Ferreira LM. Transverse effects after surgically assisted rapid maxillary expansion in the midpalatal suture using computed tomography. *J Craniofac Surg*. 2008 Mar;19(2):433-8.

Bellerive A, Montpetit A, El-Khatib H, Carra MC, Remise C, Desplats E, Huynh N. The effect of rapid palatal expansion on sleep bruxism in children. *Sleep Breath*. 2015 Dec;19(4):1265-71.

Gurgel Jde A, Malmström MF, Pinzan-Vercelino CR. Ossification of the midpalatal suture after surgically assisted rapid maxilar expansion. *Eur J Orthod*. 2012 Feb;34(1):39-43.

Nada RM, Fudalej PS, Maal TJ, Bergé SJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. Three-dimensional prospective evaluation of tooth borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg*. 2012 Dec;40(8):757-62.

Rana M, Gellrich NC, Rana M, Piffkó J, Kater W. Evaluation of surgically assisted rapid maxillary expansion with piezosurgery versus oscillating saw and chisel osteotomy - a randomized prospective trial. *Trials*. 2013 Feb 17;14:49.

Reinbacher KE, Wallner J, Pau M, Feichtinger M, Kärcher H, Quehenberger F, Zemmann W. Surgically assisted rapid maxillary expansion: feasibility of not releasing the nasal septum. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2013 Mar;42(3):321-5.

Lee, S. C., J. H. Park, M. Bayome, K. B. Kim, E. A. Araujo and Y. A. Kook (2014). Effect of bone-borne rapid maxillary expanders with and without surgical assistance on the craniofacial structures using finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 145 (5): 638-648.

Habersack K, Becker J, Ristow O, Paulus GW. Dental and skeletal effects of two-piece and three-piece surgically assisted rapid maxillary expansion with complete mobilization: a retrospective cohort study. *J Oral Maxillofac Surg*. 2014

Nov;72(11):2278-88.

Kurt G, Altug-Ataç AT, Ataç MS, Karasu HA. Stability of surgically assisted rapid maxillary expansion and orthopedic maxillary expansion after 3 years' follow-up. *Angle Orthod.* 2010 Jul;80(4):425-31.

Adolphs N, Ernst N, Menneking H, Hoffmeister B. Transpalatal distraction--state of the art for the individual management of transverse maxillary deficiency--a review of 50 consecutive cases. *J Craniomaxillofac Surg.* 2014 Dec;42(8):1669-74.

Dindaroğlu F, Doğan S. Evaluation and comparison of root resorption between tooth-borne and tooth-tissue borne rapid maxillary expansion appliances: A CBCT study. *Angle Orthod.* 2015 May 20.

Martins DC, Souki BQ, Cheib PL, Silva GA, Reis ID, Oliveira DD, Nunes E. Rapid maxillary expansion: Do banded teeth develop more external root resorption than non-banded anchorage teeth? *Angle Orthod.* 2016 Jan;86(1):39-45.

Villa MP, Rizzoli A, Rabasco J, Vitelli O, Pietropaoli N, Cecili M, Marino A, Malagola C. Rapid maxillary expansion outcomes in treatment of obstructive sleep apnea in children. *Sleep Med.* 2015 Jun;16(6):709-16.

Seeberger R, Kater W, Schulte-Geers M, Davids R, Freier K, Thiele O. Changes after surgically-assisted maxillary expansion (SARME) to the dentoalveolar, palatal and nasal structures by using tooth-borne distraction devices. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Jul;49(5):381-5.

Murakami N, Wakabayashi N. Finite element contact analysis as a critical technique in dental biomechanics: a review. *J Prosthodont Res.* 2014 Apr;58(2):92-101.

de Assis, D. S., T. A. Xavier, P. Y. Noritomi, A. G. Goncales, O. Ferreira, Jr., P. C. de Carvalho and E. S. Goncales (2013). Finite element analysis of stress distribution in anchor teeth in surgically assisted rapid palatal expansion. *Int J Oral Maxillofac Surg* 42(9): 1093-1099.

Choi AH, Conway RC, Ben-Nissan B. Finite-element modeling and analysis in nanomedicine and dentistry. *Nanomedicine (Lond).* 2014 Aug;9(11):1681-95.

Boryor A, Geiger M, Hohmann A, Wunderlich A, Sander C, Martin Sander F, Sander FG. Stress distribution and displacement analysis during an intermaxillary disjunction--a three-dimensional FEM study of a human skull. *J Biomech.* 2008;41(2):376-82.

Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2014 Sep-Dec;4(3):200-3.



ANEXOS

ANEXOS

Tabela 1 – Unidade de medida: GPa, giga Pascal

ESTRUTURAS	MÓDULO ELASTICIDADE ADULTOS (E) (GPA)	POISSON'S COEFFICIENT
Osso cortical	17,5	0,3
Dentes	20	0,3
Aço	210	0,35

Tabela 2 – Deslocamento total após força 1 mm para M1, M2, M3, M4, M5, M6 em milímetros (mm)

OSTEOTOMIA	HYRAX	PALATAL
Sem osteotomia	1,004	1,077
Osteotomia Le Fort I com degrau em pilar zigomático sem disjunção da sutura pterigopalatina	1,579	1,078
Osteotomia Le Fort I com degrau em pilar zigomático com disjunção da sutura pterigopalatina	1,526	1,179

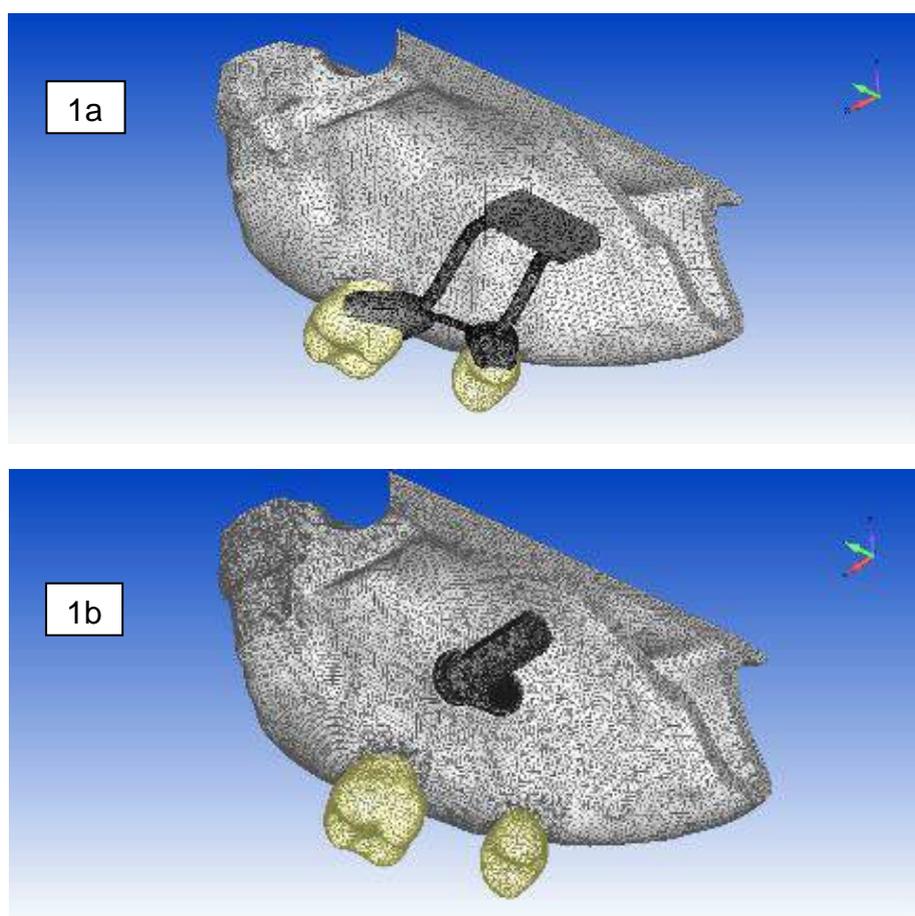


Figura 1a: Modelo virtual da maxila com malha de elementos finitos e distrator de Hyrax; e 1b: Modelo virtual da maxila com malha de elementos finitos e distrator palatal.

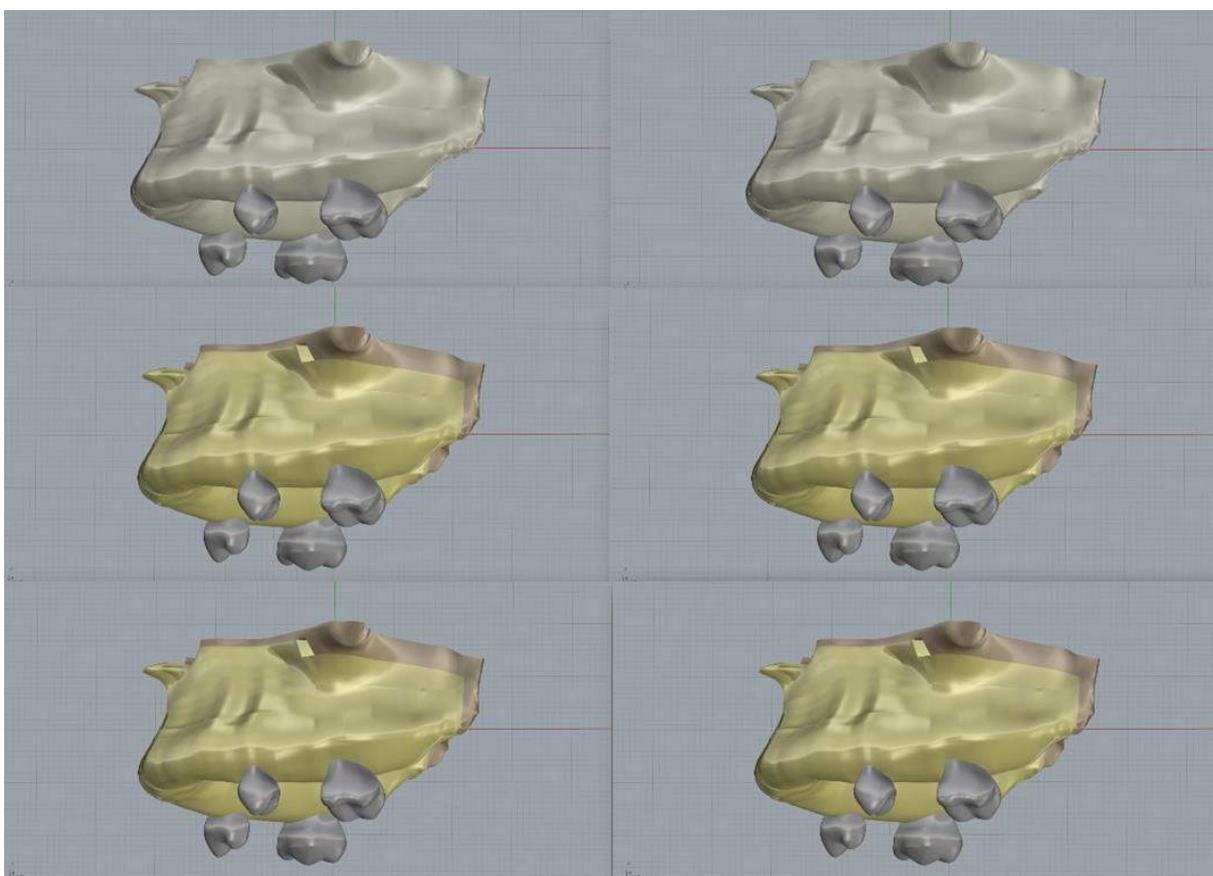


Figura. 2: (A) modelo 1: Sem osteotomia com distrator de Hyrax. (B) modelo 2: Sem osteotomia com distrator palatal. (C) modelo 3: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, sem a soltura da sutura pterigopalatina com distrator de Hyrax. (D) modelo 4: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, sem a soltura da sutura pterigopalatina com distrator palatal. (E) modelo 5: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, soltando a sutura pterigopalatina com distrator de Hyrax. (F) modelo 6: Osteotomia Le Fort I com degrau em região de pilar zigomático, soltando a sutura pterigopalatina com distrator palatal.

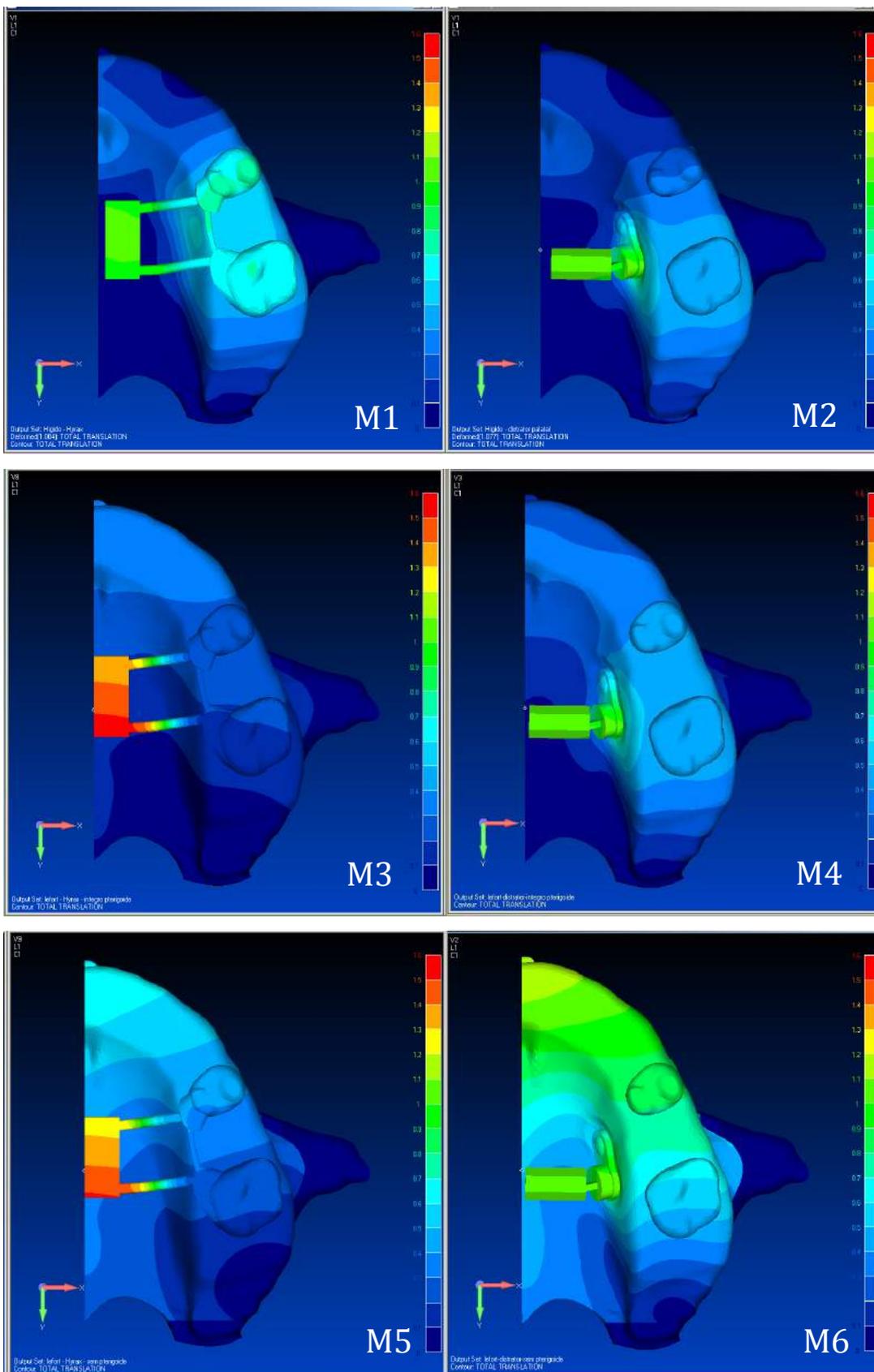


Figura 3: Resultado do deslocamento em M1, M2, M3, M4, M5 e M6

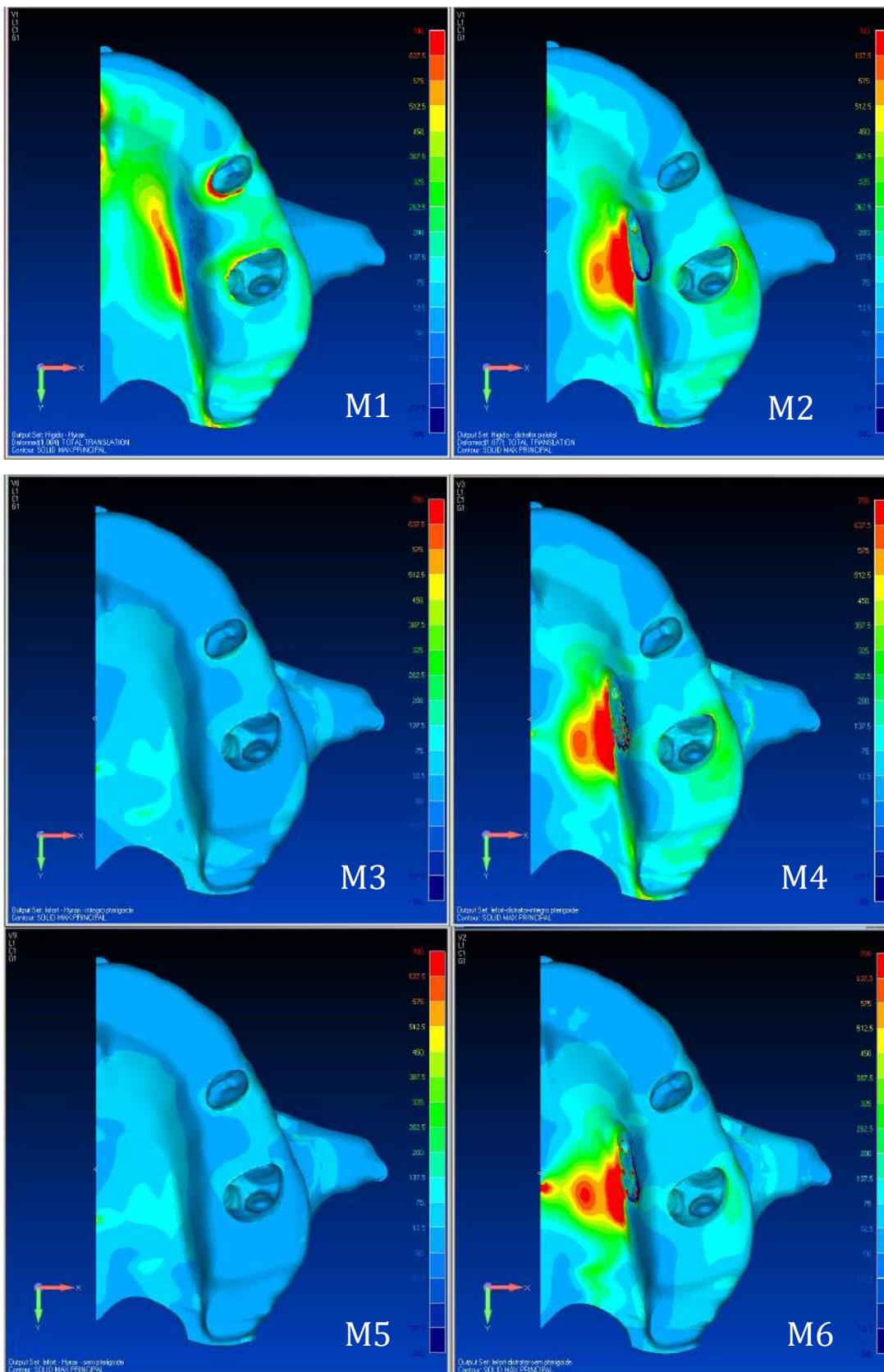


Figura 4: Tensão principal máxima em M, M2, M3, M4, M5 e M6