

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

Flávio Henrique Silveira Tomazi

**ESTUDO COMPARATIVO DA DISSIPACÃO DE FORÇAS
E EFICIÊNCIA ENTRE O APARELHO DE HYRAX E O
APARELHO DE BATTISTETTI ATRAVÉS DE ANÁLISE
POR ELEMENTOS FINITOS**

Porto Alegre

2016

**ESTUDO COMPARATIVO DA DISSIPAÇÃO DE FORÇAS E
EFICIÊNCIA ENTRE O APARELHO DE HYRAX E O APARELHO
DE BATTISTETTI ATRAVÉS DE ANÁLISE POR ELEMENTOS
FINITOS**

Dissertação apresentada como
parte dos requisitos obrigatórios
para a obtenção do título de
Mestre, na área de Cirurgia e
Traumatologia Bucomaxilofacial,
pelo Programa de Pós-Graduação
da Faculdade de Odontologia da
Pontifícia Universidade Católica do
Rio Grande do Sul.

Flávio Henrique Silveira Tomazi

Orientado

Prof. Dr. Cláiton Heitz

Orientador

PORTO ALEGRE

2016

Flavio Henrique Silveira Tomazi

**ESTUDO COMPARATIVO DA DISSIPACÃO DE FORÇAS E
EFICIÊNCIA ENTRE O APARELHO DE HYRAX E O APARELHO
DE BATTISTETTI ATRAVÉS DE ANÁLISE POR ELEMENTOS
FINITOS**

Dissertação apresentada como
parte dos requisitos obrigatórios
para a obtenção do título de
Mestre, na área de Cirurgia e
Traumatologia Bucomaxilofacial,
pelo Programa de Pós-Graduação
da Faculdade de Odontologia da
Pontifícia Universidade Católica do
Rio Grande do Sul.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cláiton Heitz (PUC/RS)

Prof. Dr. Guilherme Genehr Fritscher (PUC/RS)

Prof. Dr. Rogério Belle de Oliveira (PUC/RS)

Porto Alegre

2016

Agradecimentos Especiais

A Deus pelo dom da vida, por mais essa oportunidade e por sempre guiar meus passos.

Aos meus pais, Flávio e Lú, pelo amor, carinho, dedicação, paciência e incentivo, para que eu pudesse alcançar mais esse importante objetivo. São essenciais para a minha vida. Amo muito vocês. Muito obrigado por tudo, de coração.

Ao meu irmão, Eduardo, que sempre esteve na torcida por mim em todos os momentos.

À minha namorada, Duda, pelo carinho, paciência, amor, pelo incentivo e confiança que sempre me passou em todas as horas.

Ao Professor Dr. Claiton Heitz, pela acolhida e pela confiança em mim depositada. Obrigado pelos ensinamentos, conversas, cirurgias, conselhos e paciência.

Tenho muito orgulho de ter sido seu orientado, pela sua enorme capacidade, pelo seu profissionalismo, dedicação, humildade, ética, respeito ao próximo e amor à Cirurgia Bucomaxilofacial. Sou eternamente grato por tudo o que fez por mim.

Ao Professor Dr. Guilherme Genehr Fritscher, agradeço por sua ajuda todas as vezes que o solicitei e também por ter aceitado ser membro da banca avaliadora dessa dissertação.

Ao Professor Dr. Rogério Belle de Oliveira, pelos ensinamentos em suas aulas e por ter aceitado ser membro da banca avaliadora dessa dissertação.

A todos os professores de Odontologia da PUC/RS, em especial aos de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pelo aprendizado e pelo convívio.

Aos professores da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE/Cascavel), em especial aos professores da Residência em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pelos ensinamentos e conselhos e, principalmente pela amizade.

A todos os meus amigos, pelas conversas e conselhos, pela torcida e por estarem ao meu lado em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

À Professora Dra. Ana Maria Sphor, coordenadora do programa de pós-graduação em Odontologia da PUC/RS, pelo empenho e dedicação.

À CAPES, pelo fornecimento da bolsa que possibilitou a conclusão desse mestrado.

Aos colegas de pós-graduação de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pela troca de informações e companheirismo, em especial à Monique Estér Ponte por sempre estar disposta a ajudar.

Ao colega, Cirurgião Bucomaxilofacial, Ricardo Augusto Conci, pela amizade, ajuda e pelo incentivo para que realizasse essa pesquisa com Elementos Finitos.

Obrigado pelas explicações, material didático e por todo o auxílio.

Ao colega, Cirurgião Bucomaxilofacial, Guilherme Battistetti, pela amizade e ajuda e por desenvolver o aparelho que é motivo desse estudo.

Ao meu amigo, Matheus Althoff, que sempre me recebeu em sua casa de braços abertos durante esse período.

Ao Centro de Tecnologias da Informação Renato Archer (CTI/CenPRA), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Agradecimento a Jorge Vicente Lopes da Silva, chefe da divisão de tecnologias tridimensionais, por aceitar o nosso projeto e pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa nessa renomada e conceituada instituição. Também aproveito para agradecer imensamente a Pedro Yoshito Noritomi, pesquisador da divisão de tecnologias tridimensionais, pela acolhida e pela valiosa contribuição em todas as etapas de execução do trabalho, sempre com muita disposição e paciência, desde a questão dos agendamentos de horários até a conclusão do projeto, com ideias e explicações muito importantes e pela ajuda em tudo o que foi necessário. Ainda aproveito a oportunidade para agradecer Daniel Takanori Kemmoku (Taka), engenheiro chefe.

Aos funcionários da secretária de Pós Graduação da Faculdade de Odontologia da PUC/RS.

Aos funcionários da disciplina de cirurgia da Faculdade de Odontologia da PUC/RS.

Aos funcionários do bloco cirúrgico do Hospital São Lucas da PUC/RS.

RESUMO

A expansão rápida de maxila assistida cirurgicamente (ERMCA) representa um tema de grande importância dentro da Cirurgia e Traumatologia Bucocomaxilofacial.

Essa modalidade cirúrgica é descrita para correções transversas da maxila em pacientes com formação óssea finalizada, ou que obtiveram insucesso com a modalidade de disjunção da maxila.

Existem várias técnicas e dispositivos associados à ERMCA, sendo os mais conhecidos o disjuntor de Hyrax e de Hass, que são dentossuportados e dento-mucossuportados respectivamente.

Dispositivos osseossuportados também são descritos pela literatura e apresentam como vantagem a transmissão direta de forças à maxila e não aos dentes. Sua principal desvantagem é o custo, que acaba inviabilizando a maior parte dos tratamentos.

O dispositivo preconizado por Battistetti *et al.* (2010) traduz-se por um disjuntor osseossuportado personalizado, confeccionado a partir de um torno central e placas de aço unidos através de uma solda de prata, fixado no osso por 2 parafusos de cada lado. Ele apresenta todas as vantagens de um dispositivo osseossuportado convencional, com um custo muito reduzido.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a transmissão de forças e eficiência do aparelho de Battistetti e fazer uma comparação com o aparelho amplamente usado de Hyrax, através de um estudo por elementos finitos (FE).

Os resultados demonstram que o aparelho personalizado de Battistetti transmite as forças nele aplicadas com muito mais eficiência em relação ao aparelho de Hyrax e não há comprometimento dental. Observa-se também um deslocamento ósseo maior usando o dispositivo osseossuportado, além de uma menor fadiga do aparelho.

Palavras-chave: maxila, expansão maxilar, análises por elemento finito

ABSTRACT

Surgical assisted rapid maxillary expansion (SARME) represents an important topic in Oral and Maxillofacial Surgery.

This surgical method is described for transverse maxillary corrections in patients with completed bone formation, or failure obtained with the non-surgical method of disjunction of the maxilla.

There are several techniques and devices associated with SARME, the most famous are the Hyrax and Hass disjunctor, which are tooth-borne and tooth-muco-borne respectively.

Bone-borne devices are also described in the literature and have the advantage of direct transmission of the forces to the maxilla and not to the teeth. Its main disadvantage is the cost that makes it impossible to most of the treatments.

The device developed by Battistetti *et al.* (2010) translates into a custom bone-borne disjunctor, made from a lathe and two steel plates fused by a silver solder and fixed to the bone by two screws on each side. It has all the advantages of a conventional bone-borne device with much lower cost.

The aim of this study is to evaluate the transmission of forces and efficiency of Battistetti device and make a comparison with the Hyrax disjunctor, through a study using finite elements (FE).

The results demonstrate that the custom device developed by Battistetti transmits the force much more efficiently compared to Hyrax, and there is no dental commitment. It is also observed a bigger bone displacement using bone-borne device in addition to a smaller disjunctor fatigue.

Key Word: maxilla, maxillary expansion, finite element analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aparelho de Battistetti

Figura 2 - Esquema da confecção do dispositivo de Battistetti

Figura 3 e 4 - Modelagem do aparelho de Hyrax

Figura 5 e 6 - Modelagem do aparelho de Battistetti

Figura 7, 8 e 9 - Deslocamento promovido pelo aparelho de Hyrax

Figura 10, 11 e 12 - Deslocamento promovido pelo aparelho de Battistetti

Figuras 13 e 14 - Valores de Von Mises para o aparelho de Hyrax

Figura 15 - Valores de Von Mises para o aparelho de Battistetti

Figura 16 - Tensão máxima aparelho de Hyrax

Figuras 17 e 18 - Tensão máxima aparelho de Battistetti

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

PUC/RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

ERMAC – Expansão rápida de maxila assistida cirurgicamente

FEA – Análise por elementos finitos

FE – Elemento Finito

3 D – Três dimensões

CTI – Centro de Tecnologia da Informação

CenPRA – Centro de Pesquisa Renato Archer

TC – Tomografia Computadorizada

Mpa – Mega Pascal

N – Newton

mm – Milímetro

mm² – Milímetro quadrado

% - Por cento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E REVISTA PRELIMINAR DE LITERATURA.....	12
2. OBJETIVOS	19
2.1 Geral	19
3. JUSTIFICATIVA	20
4. METODOLOGIA.....	21
4.1 Análise por Elementos Finitos (FEA)	21
5. RESULTADOS	25
5.1 Análise de Deslocamento	25
5.2 Análise da Tensão de Von Mises	27
5.3 Análise da Tensão Máxima.....	29
6 DISCUSSÃO	31
7 CONCLUSÃO.....	33
8. BIBLIOGRAFIA	34

1. INTRODUÇÃO E REVISTA PRELIMINAR DE LITERATURA

Uma adequada dimensão maxilar transversa é um importante fator para uma oclusão estável e tem efeitos positivos na estética facial¹

Deficiência transversa de maxila é frequentemente observada em pacientes adultos e pode ser responsável por mordida cruzada uni ou bilateral e apinhamento dental anterior². A incidência de mordida cruzada posterior é de aproximadamente 9,4% na população comum. A incidência sobe para 30% em pacientes que procuram avaliação para cirurgia ortognática.³

Betts e colaboradores (1995) identificaram achados clínicos e radiográficos em pacientes com discrepância maxilar esquelética. Os achados clínicos incluem mordida cruzada uni ou bilateral, má posicionamento dental, arco maxilar estreito e a abóboda palatina alta.⁴

A constrição maxilar deve ser corrigida com expansão ortodôntica lenta (EOL), expansão rápida de maxila (ERM), expansão rápida de maxila assistida cirurgicamente (ERMAC) ou osteotomia Le Fort I segmentada.⁵

A expansão rápida de maxila é um método consagrado para correção de deficiência transversa de maxila e discrepância de largura entre os arcos. Foi primeiramente descrita por Angell em 1860 e é considerado o tratamento de escolha para adolescentes em fase de crescimento. Entretanto, em pacientes com crescimento ósseo cessado, a ERM tem pouco efeito na sutura palatina mediana. Em virtude da redução da elasticidade do osso e da resistência das interdigitações da sutura palatina mediana e das suturas laterais da maxila e com o passar da idade, a expansão rápida de maxila cirurgicamente assistida é usada para pacientes adultos ou adolescentes que já cessaram o crescimento⁶. De acordo com Haas, após os 18 anos, é improvável abrir a sutura palatina

26 mediana com forças de distração, pois há uma união entre as edentações
27 presentes na sutura e o aumento da densidade óssea local⁷. Entretanto, até
28 que haja a consolidação da sutura, por volta dos 14-16 anos, pode-se obter
29 sucesso com o uso de uma expansão rápida de maxila sem a necessidade de
30 cirurgia.³

31 A expansão rápida de maxila assistida cirurgicamente (ERMAC) foi
32 introduzida em 1938 e suas indicações gerais são: maturidade esquelética,
33 hipoplasia maxilar transversa severa uni ou bilateral, apinhamento dental
34 anterior, corredor bucal, que é conhecido como “corredor negro” quando o
35 paciente sorri⁸.

36 As vantagens da ERMAC consistem em: correção da mordida cruzada,
37 melhora na passagem de ar pela cavidade nasal, melhora na saúde periodontal
38 além de possibilitar a diminuição do corredor bucal. Soma-se a isso, o fato da
39 ERMAC poder eliminar a obstrução nasal, reduzir a suscetibilidade a infecções
40 do trato respiratório e melhorar a perfusão nasal⁹, em virtude do aumento da
41 distância das paredes laterais da cavidade nasal. O aumento dessa distância
42 provoca um aumento de volume da cavidade nasal, o que facilita a
43 respiração¹⁰.

44 Diversos tipos de técnicas cirúrgicas foram descritas para a ERMAC
45 combinando osteotomias maxilares, pterigopalatinas, nasal lateral, septal e
46 palatinas, bem como uma série de distratores¹¹, com a finalidade de romper as
47 áreas de resistência lateral do terço médio da face. As áreas de resistência
48 foram classificadas como “suporte anterior” (pilares da abertura piriforme),
49 “suporte lateral” (pilar zigomático), “suporte posterior” (junção pterigoide) e
50 suporte mediano (sutura palatina mediana)³

51 Pereira *et al.*, através de um estudo tomográfico, classificaram a
52 abertura da sutura palatina mediana após a ERMAC em dois tipos. Tipo I:
53 abertura completa da sutura palatina mediana desde a espinha nasal anterior
54 até a espinha nasal posterior. Tipo II: abertura total da sutura palatina mediana
55 desde a espinha nasal anterior até a sutura palatina transversa, com parcial ou
56 inexistente abertura da sutura palatina transversa¹².

57 São descritas uma série de técnicas cirúrgicas para ERMAC. A mais
58 comum traduz-se por osteotomias bilaterais das paredes laterais da maxila com
59 ou sem a separação das placas pterigoides, combinadas com osteotomias da
60 porção anterior da parede nasal lateral e da sutura palatina mediana.³

61 Seeberger *et al.* afirmaram, através de seus estudos com elementos
62 finitos, que a não separação das placas pterigoides não influencia no resultado
63 final da ERMAC¹³. Especialmente quando a cirurgia é realizada sob anestesia
64 local, a separação das placas pterigoides não está indicada, pois há a
65 possibilidade de haver um sangramento importante e de difícil controle do feixe
66 palatino descendente.¹⁴

67 Outro fator que a literatura é muito controversa é a questão do septo
68 nasal. Reinbacher *et al.* comprovaram, através de estudos clínicos e
69 tomográficos, que não há a necessidade de liberação adicional do septo nasal
70 da base palatal para evitar desvio de septo¹⁵.

71 Atualmente, adota-se o protocolo descrito por Bell e Epker em 1976, no
72 qual a separação da sutura palatina mediana dá-se por um acesso vestibular,
73 sendo o osteótomo inserido entre as raízes dos incisivos centrais superiores.¹⁶

74 No serviço de cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial da Pontifícia
75 Universidade Católica do Rio Grande do Sul tem-se como rotina levar o

76 paciente à anestesia geral com intubação nasotraqueal. Infiltração de
77 anestésico local com epinefrina (Lidocaína 2%, epinefrina 1:200.000) em fundo
78 de vestibulo de maxila bilateralmente. Incisão horizontal é realizada 3mm
79 acima da junção mucogengival bilateralmente, desde a região do pilar
80 zigomático até a região de canino. Um retalho subperiosteal é confeccionado,
81 expondo toda a parede lateral da maxila, desde a abertura piriforme até a
82 região da túber. Um retrator de Obwegeser invertido é inserido através de um
83 túnel subperiosteal ao longo da parede póstero-lateral da maxila. A mucosa
84 nasal é descolada e elevada da parede nasal lateral e do assoalho nasal e uma
85 lâmina maleável fina é inserida para proteção do mucoperiósteo e para evitar
86 perfuração durante a osteotomia.

87 Com o uso de brocas 703 e peça cirúrgica, é realizada uma osteotomia
88 horizontal na parede lateral da maxila, 5 mm acima das raízes dentárias, desde
89 a abertura piriforme até a região posterior da tuberosidade bilateralmente.

90 Nesse momento, procede-se a ativação do aparelho expensor até o
91 momento em que haja certa resistência.

92 Após isso, uma pequena incisão é feita na mucosa vestibular entre os
93 incisivos centrais superiores para exposição da espinha nasal anterior. Uma
94 pequena marcação é realizada com broca 701 e um cinzel fino é inserido na
95 sutura logo abaixo da espinha nasal anterior angulado levemente para inferior.
96 O dedo indicador da mão contrária é posicionado na região palatina e o cinzel é
97 batido gentilmente até que o mesmo chegue à porção palatina. O cinzel é
98 reposicionado em uma posição mais horizontal e batido cerca de 30mm para
99 separação da espinha nasal posterior.

100 Após o uso dos cinzéis, deve-se observar um diastema entre os incisivos
101 centrais superiores, o que indica a separação da maxila em duas porções.
102 Devem-se observar também as linhas de osteotomia, para que não haja
103 nenhum contato ósseo, o que poderia dificultar, ou inviabilizar, a expansão
104 necessária.

105 O aparelho é desativado e as incisões suturadas com fio reabsorvível.

106 Paley classificou as dificuldades encontradas no processo de ERMAC
107 (durante a cirurgia, distração e consolidação) em três categorias (A, B, C).
108 Categoria “A” (problemas): dificuldades que se resolvem por si só durante o
109 tratamento; “B” (obstáculos): dificuldades que são resolvidas com um
110 tratamento específico; e “C” (complicações): efeitos negativos que não são
111 resolvidos até o final do tratamento.¹⁷

112 Diversos dispositivos ortodônticos foram desenvolvidos para auxiliar a
113 separação da sutura palatina mediana, os mais conhecidos são os expansores
114 de Hyrax e de Hass. Eles são, geralmente, cimentados nos primeiros prés-
115 molares e primeiros molares.¹² Algumas complicações relacionadas com
116 aparelhos dento-suportados são descritas. Pode-se citar: perda de osso
117 alveolar, compressão do ligamento periodontal, reabsorção radicular,
118 deslocamento lateral do dente e extrusão.¹⁸ Outros aparelhos foram
119 desenvolvidos, especialmente os ósseo-suportados, para otimizar o processo
120 de expansão. Aplicando forças diretamente no osso maxilar durante a
121 expansão e retenção, reduzem-se os efeitos colaterais nos dentes². Quando
122 usados dispositivos dento-suportados, é necessário fazer uma sobrecorreção
123 pois ocorre uma inclinação dentária concomitante a expansão da sutura
124 intermaxilar¹⁰

125 Os dispositivos ósseo-suportados contribuem muito para o tratamento de
126 adultos com problemas periodontais. Entretanto, é claro que alguns problemas
127 existem com esses dispositivos, tais como: alto custo e menor estabilidade
128 durante o período de consolidação ¹⁹.

129 O dispositivo ósseo-suportado desenvolvido por Battistetti (figura 1) e
130 colaboradores²⁰ é constituído de um torno central ligado a uma placa de aço
131 cirúrgico de cada lado com 2mm de espessura e quatro furos, sendo que dois
132 deles são usados para fixação no osso do palatino (figura 2) e os demais para
133 reforçar a solda entre torno e placa. Esse dispositivo modificado visa a diminuir
134 os custos do tratamento sem perder a eficiência de um aparelho ósseo-
135 suportado.



136

137

138

Figura 4 Aparelho de Battistetti



139

140

141

Figura 5 Esquema da confecção do dispositivo de Battistetti

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

A importância dessa pesquisa encontra-se no fato de comparar, através de testes computacionais em 3D, com utilização de análise por elementos finitos, a dissipação de forças entre o aparelho de hyrax e o aparelho osseossuportado de Battistetti.

165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Comparar através de análise por elementos finitos, o grau de eficiência e áreas de dissipação de forças do aparelho Hyrax e do aparelho de Battistetti em cirurgias de expansão rápida de maxila assistida cirurgicamente.

198 3. JUSTIFICATIVA

199

200 A importância desta pesquisa está na comparação entre dois
201 dispositivos utilizados para auxiliar a separação sagital da maxila, propondo
202 assim, avaliar e comparar a efetividade, através de análise de elementos finitos
203 dos mesmos em cirurgias de expansão rápida de maxila assistida
204 cirurgicamente.

205 O dispositivo de Battistetti está indicado para todos os casos,
206 especialmente para pacientes edentados ou com problema periodontal severo,
207 porém com um custo reduzido em relação aos dispositivos similares existentes
208 no mercado.

209 O estudo avalia a viabilidade e a eficiência biomecânica, através de
210 análise por elementos finitos, desses dispositivos.

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229 **4. METODOLOGIA**

230

231 **4.1 Análise por Elementos Finitos (FEA)**

232 Esse estudo foi aprovado pelo comitê de ética e pesquisa da Pontifícia
233 Universidade Católica do Rio Grande do Sul - SIPESQ (Porto Alegre; Brasil;
234 Número: 6898)

235 Foram construídas estruturas geométricas da maxila e crânio como um
236 todo, além dos dispositivos a serem comparados. As estruturas ósseas foram
237 construídas a partir de um arquivo DICOM retirado do banco de dados no CTI
238 (Centro de Tecnologia da Informação do CenPRA - Campinas, SP, Brasil). Os
239 dados foram obtidos anteriormente a partir de um crânio seco submetido a uma
240 tomografia computadorizada helicoidal com cortes axiais de espessura de 1
241 mm.

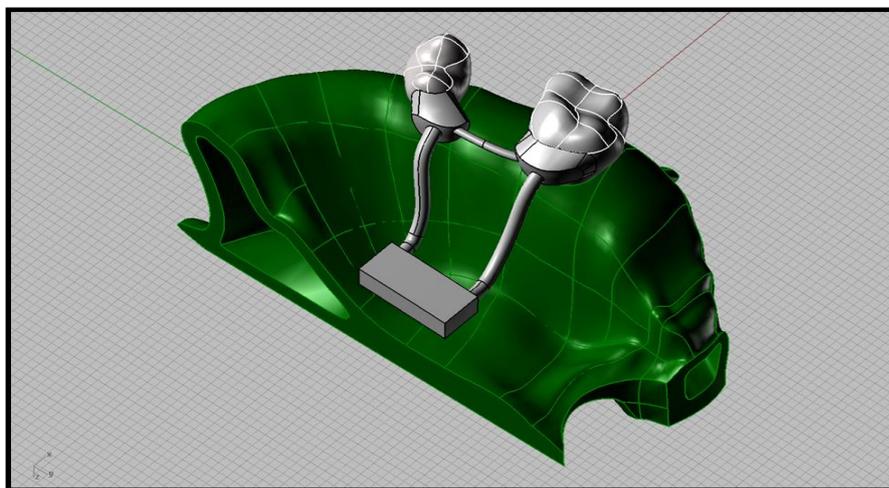
242 As geometrias tridimensionais da maxila, crânio, dispositivos de Hyrax,
243 dispositivo de Battistetti e parafusos, foram criadas por software Rhinoceros 4.0
244 (McNeel-América do Norte, Seattle, WA). A partir desse momento, a geometria
245 foi importada para o software Ansys Workbench V.14.5 (Ansys Inc.,
246 Canonsburg, PA, USA) para o pré-processamento de desenvolvimento do
247 elemento finito (FE).

248 Foi assumido um padrão de simetria e todos os materiais foram
249 considerados como sendo homogêneos, isotrópicos e de elasticidade linear.

250 Os eixos de deslocamento do modelo no espaço foram definidos como
251 “X”, látero-lateral (horizontal); “Y”, ântero-posterior (horizontal); e “Z”, Ínfero-
252 superior (vertical). As áreas acima das osteotomias foram completamente
253 fixadas no eixo “Z”.

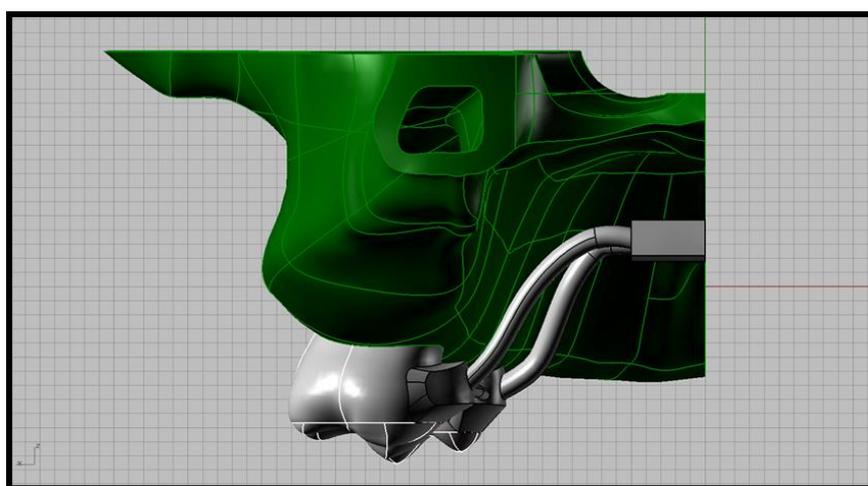
254 Foram criados dois grupos de modelos de elementos finitos: Grupo 1,
255 expansão através de dispositivo de Hyrax; e Grupo 2, para expansão através
256 do dispositivo osseossuportado de Battistetti.

257 O aparelho de Hyrax foi instalado com o torno central a 5mm de
258 distância do palato duro e suportado pelos dentes primeiros pré-molares e
259 primeiros molares bilateralmente (figura 3 e 4), já o aparelho de Battistetti
260 (figura 5 e 6) foi instalado no osso palatino através de placas de 2,0mm, com 2
261 furos e parafusos bilateralmente, adaptadas justapostas ao osso.



262

263



264

265

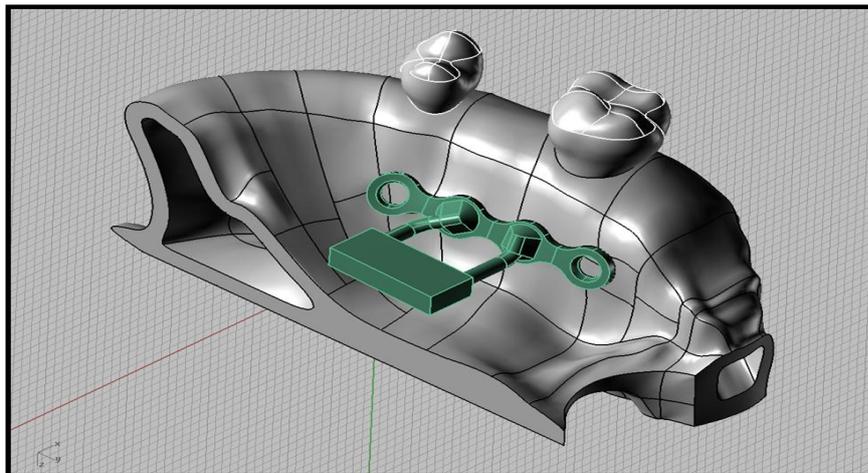
266

267

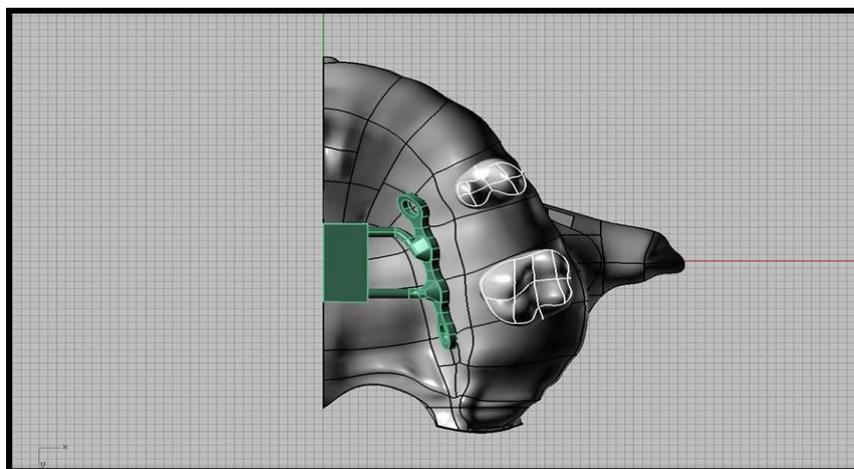
268

Figura 6 e 4 - Modelagem do aparelho de Hyrax

269
270
271



272



273

274
275

Figura 5 e 6 - Modelagem do aparelho de Battistetti

276

277 Foram realizadas as osteotomias Le Fort I, sagital mediana e a
278 separação da placa pterigoide.

279 Foi promovida a abertura de 1mm (0,5mm para cada lado) no torno
280 central de ambos os dispositivos. Nenhum tipo de contato foi aplicado nas
281 regiões onde foram realizadas as osteotomias, as quais puderam se mover
282 livremente sem fricção ou contato, limitadas somente pelo espaço promovido
283 de 1mm.

284 As forças resultantes foram avaliadas graficamente através do software
285 Ansys Workbench V.14.5. A análise quantitativa foi realizada considerando-se
286 a carga realizada pelo modelo no deslocamento preconizado.

287 Propriedades para osso com o módulo de isotropia de Young de 17.500
288 Mpa, com valores de Poisson de 0,3.

289 Propriedades para a placa de aço foram fornecidas pelos fabricantes,
290 com um módulo de isotropia de Young de 210.000 MPa e proporções de
291 Poisson 0,35.

292 A estabilidade de um estado de estresse tridimensional (3D) foi avaliada
293 de acordo com a hipótese de estresse de “Tensão máxima principal”, que mede
294 a eficácia geral de estresse em um material. A reação de estresse interno foi
295 medida pelos valores de tensão de Von Mises. Todos os valores de tensão são
296 dados em MPa (N/mm²). Uma escala de cores com 32 valores de tensão serve
297 para avaliar a distribuição quantitativamente.

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308 **5. RESULTADOS**

309

310

5.1 Análise de Deslocamento

311

312

313

314

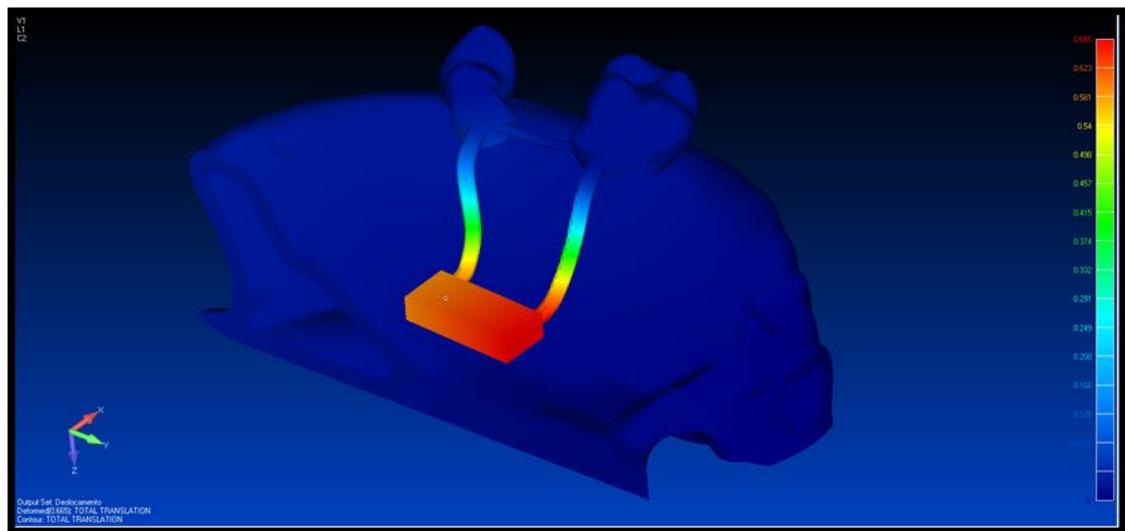
O deslocamento é maior nas áreas em vermelho, e praticamente nulo nas áreas em azul escuro. Áreas com deslocamento intermediário (verde, amarelo, laranja) são representadas pelas cores sendo o limite o vermelho e o azul escuro.

315

316

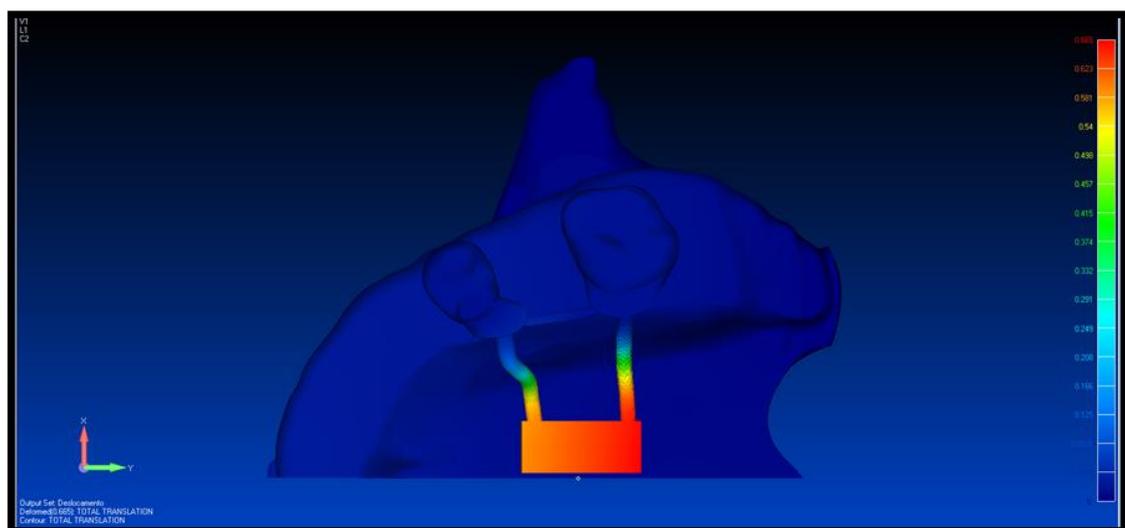
317

No Grupo 1, somente expansor atingiu o deslocamento total e ocorreu movimentação dos braços conectores. O deslocamento ósseo nesse modelo foi nulo. (figuras 7, 8 e 9).



318

319



320

321

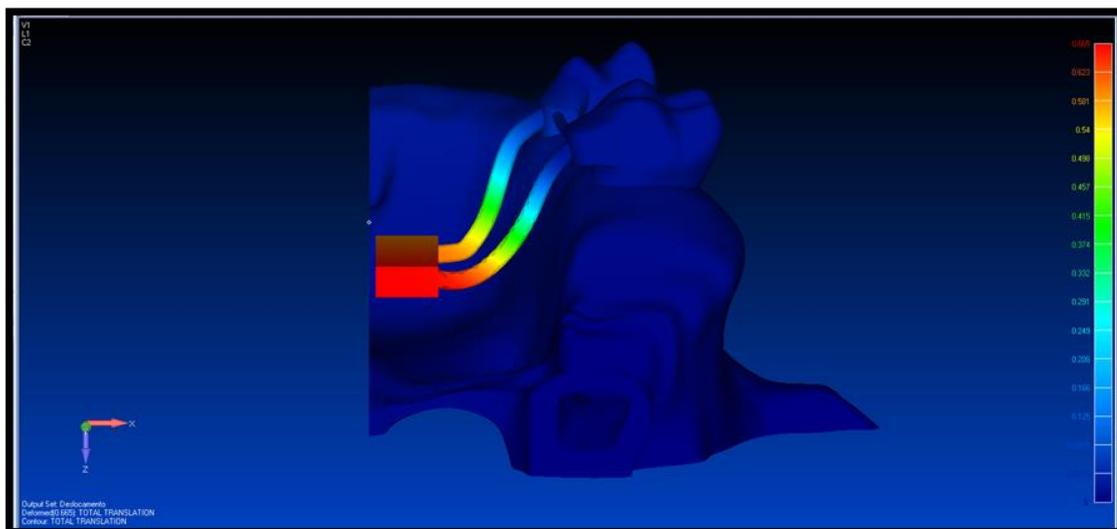


Figura 7, 8 e 9 Deslocamento promovido pelo aparelho de Hyrax

322

323

324

325

326

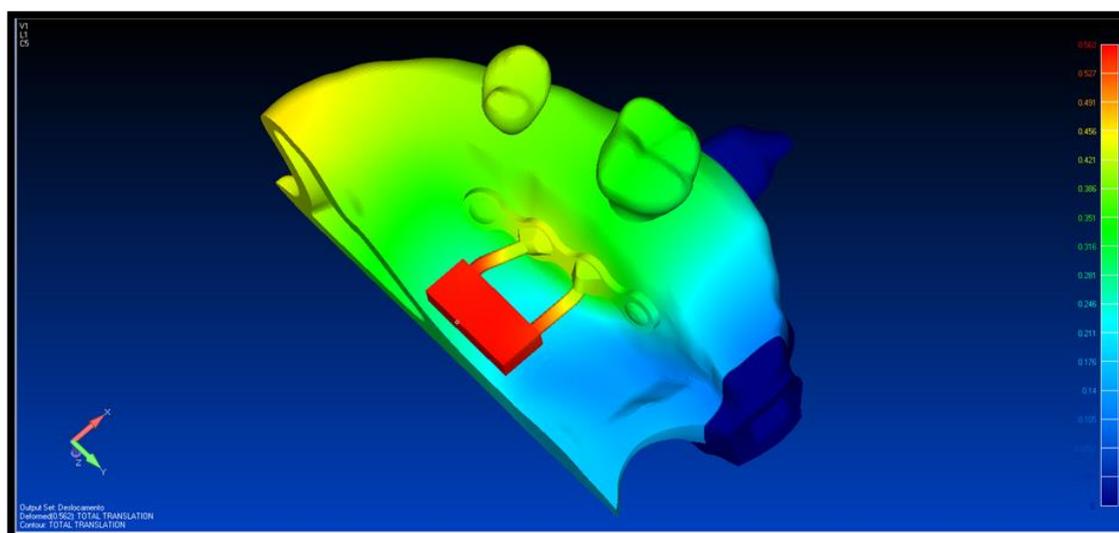
327

328

329

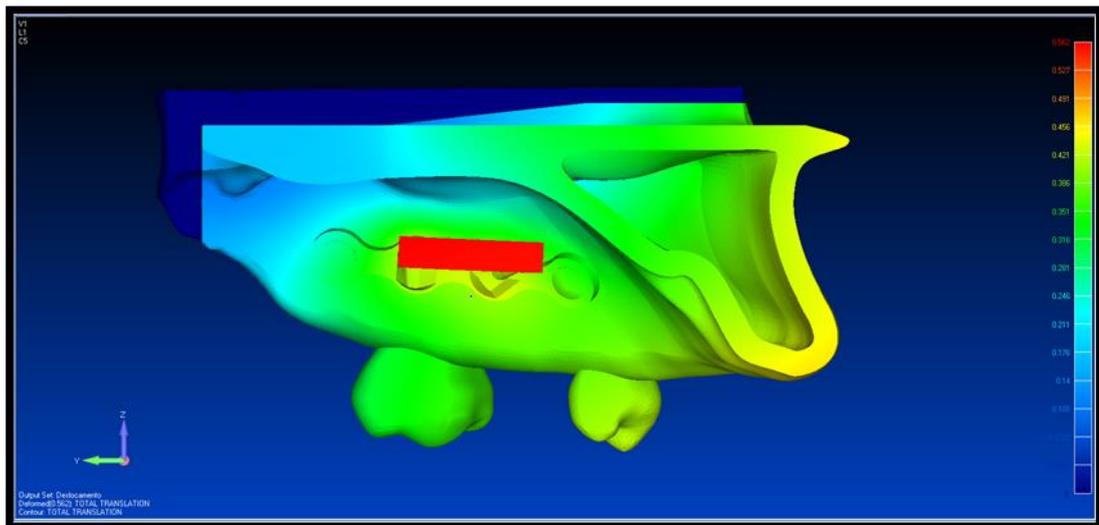
330

No Grupo 2, observa-se deslocamento ósseo maior na região anterior (0,44mm) e decresce em direção a região posterior (0,21mm). A região dental sofre um deslocamento intermediário entre 0,16mm à 0,39mm, sendo maior na região de pré-molar (figuras 10, 11 e 12).



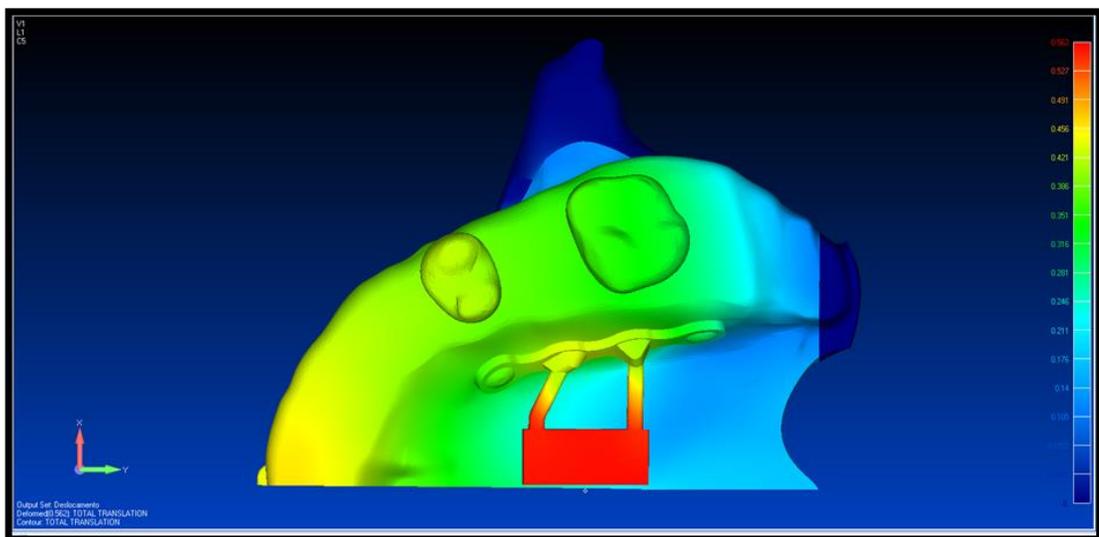
331

332



333

334



335

336

337

Figura 10, 11 e 12 - Deslocamento promovido pelo aparelho de Battistetti

338 5.2 Análise da Tensão de Von Mises

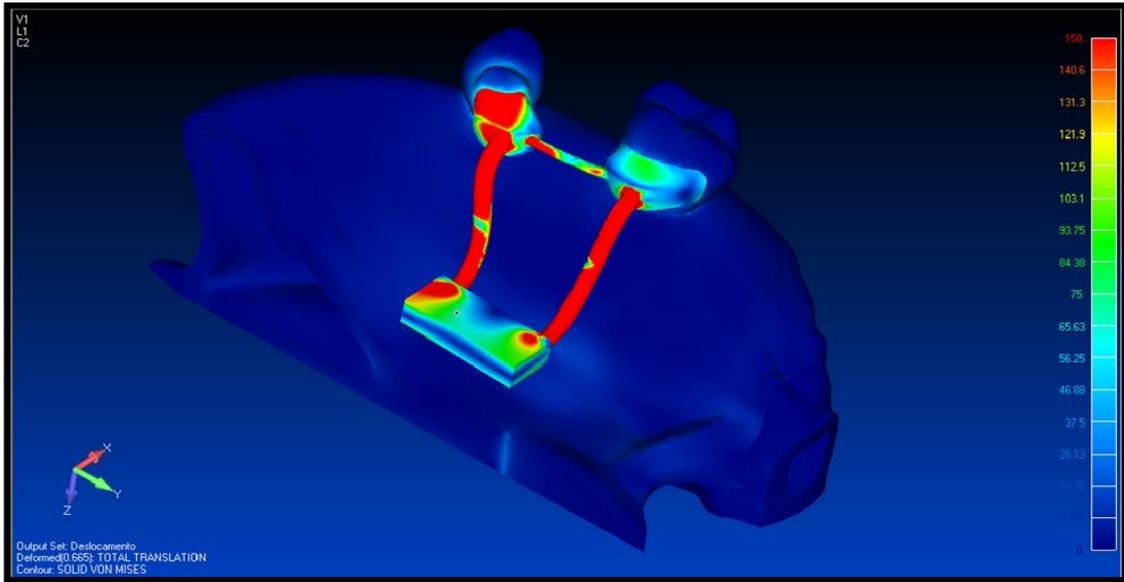
339

340 Os valores de Tensão de Von Mises são mostrados nas figuras 13, 14,
341 15.

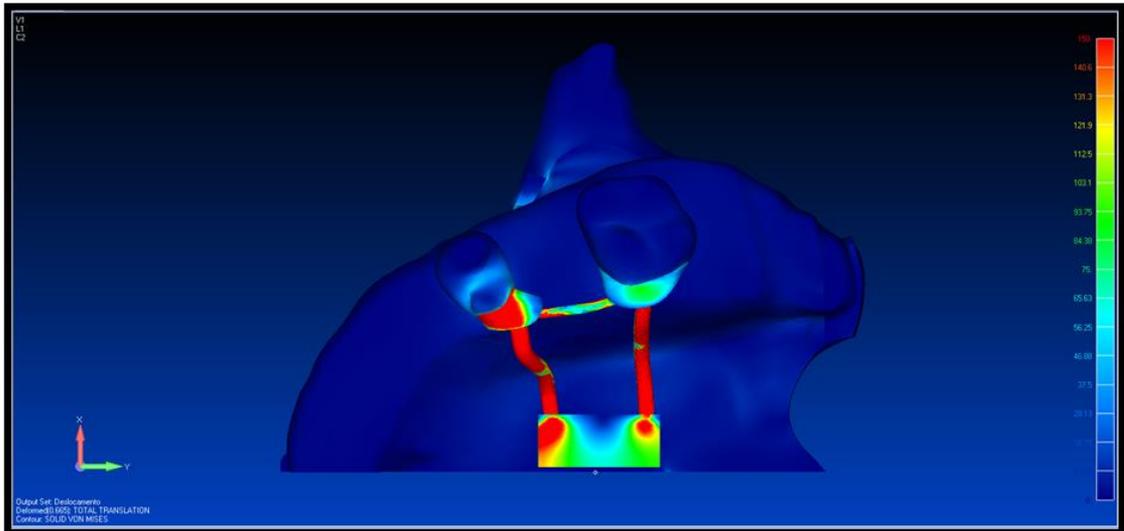
342 No grupo 1, observam-se grandes valores (150Mpa) nos braços
343 conectores do aparelho e na região do encontro com os dentes, especialmente
344 primeiro pré-molar.

345 No grupo 2, também observam-se valores maiores nos braços conectores
346 do aparelho, na região onde há o contato da placa com o osso e na porção
347 mais superior da maxila.

348



349
350



351
352
353

Figuras 13 e 14 - Valores de Von Mises para o aparelho de Hyrax

354
355

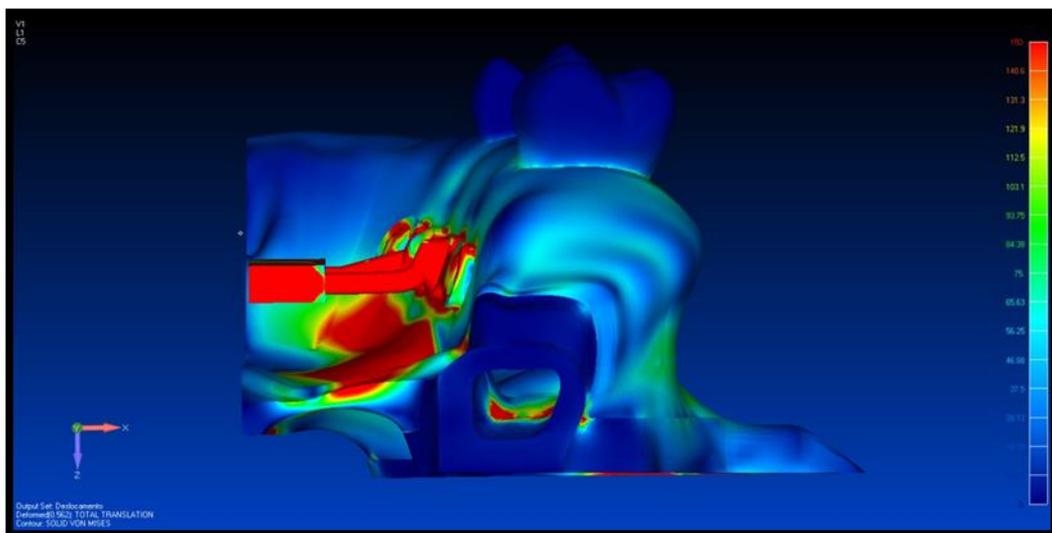


Figura 15 - Valores de Von Mises para o aparelho de Battistetti

356 **5.3 Análise da Tensão Máxima**

357

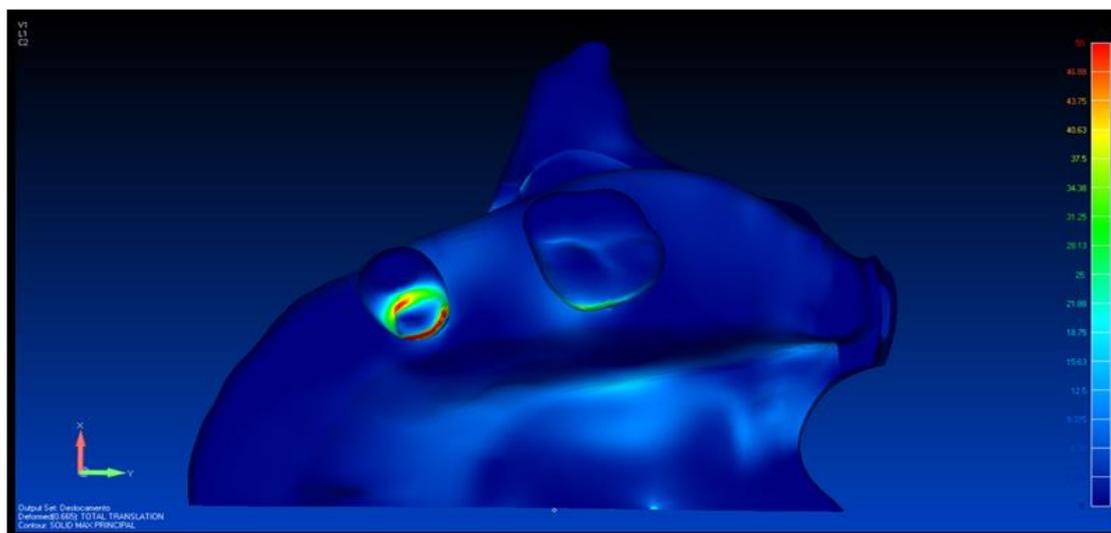
358 O grupo 1 apresenta valores maiores na face de contato dental,
 359 especialmente no primeiro pré-molar. Observam-se também valores menores
 360 na porção superior palatal da maxila (figura 16).

361

362 O grupo 2 evidencia maiores valores de tensão máxima na parte mais
 363 superior palatal da maxila e se dissipa para o interior do seio maxilar. Valores
 364 intermediários são encontrados na região da tuberosidade da maxila e
 vestibular do osso alveolar (figuras 17 e 18).

365

366

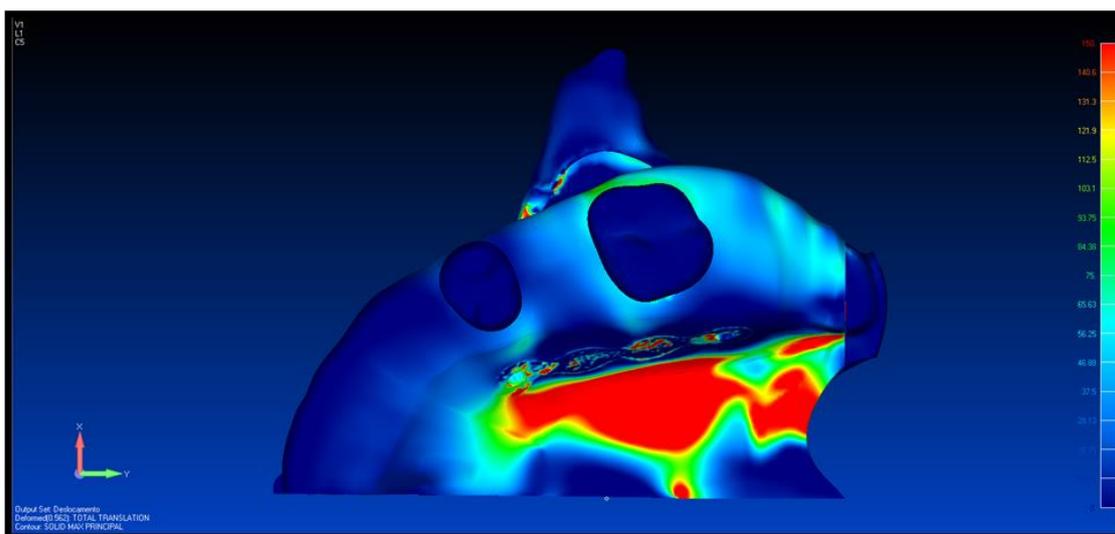


367

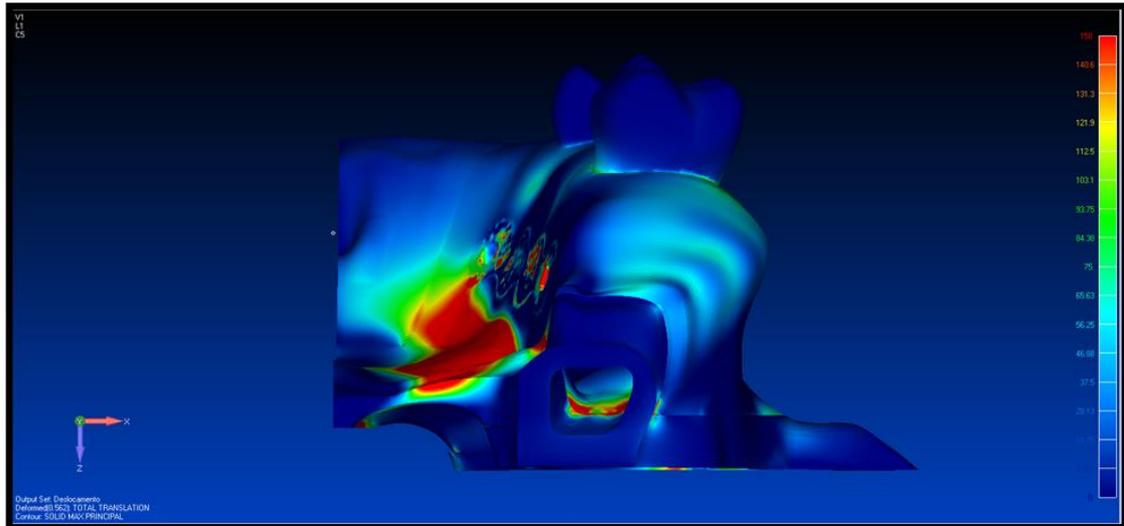
368

369

Figura 16 - Tensão máxima aparelho de Hyrax



370



Figuras 17 e 18 - Tensão máxima aparelho de Battistetti

371
372
373
374

375 6 DISCUSSÃO

376
377 O objetivo do método de estudo por elementos finitos é dividir as
378 estruturas em pequenos fragmentos que são conhecidos por “elementos
379 finitos”²¹. As forças aplicadas no expansor são transmitidas para os dentes,
380 osso do palato duro e estruturas adjacentes e o método de análise por
381 elementos finitos consegue dimensionar essa tensão²².

382 Existem vários tipos de técnicas e dispositivos utilizados para ERMAC²³ e
383 as variações nos modelos de osteotomias mudam o nível de dissipação do
384 estresse promovido²⁴. O que se procura é uma técnica que apresente um
385 equilíbrio entre o máximo de mobilidade da maxila e uma cirurgia minimamente
386 invasiva para evitar complicações. Considera-se a osteotomia Le Fort I
387 associada à liberação da placa pterigoide e osteotomia sagital mediana a
388 melhor maneira para a separação da sutura intermaxilar, por promover uma
389 menor área de retenção óssea²⁵.

390 Diversos tipos de aparelhos são descritos para auxiliar a separação da
391 sutura palatina mediana após a cirurgia, porém muitos deles são inviáveis em
392 virtude do alto custo²⁰. Por esse motivo, esse estudo avaliou a distribuição de
393 forças do aparelho de Hyrax e do aparelho de Battistetti.

394 Não existe um consenso no protocolo de ativação dos aparelhos
395 disjuntores. Há relatos de taxa de distração de 0,33mm à 1mm ao dia, e a
396 maioria dos estudos relata um período de latência (antes do início da ativação)
397 de 7 dias, porém períodos de 1 e 2 dias foram reportados também^{26,27}. O
398 sistema de ativação do aparelho disjuntor utilizado no estudo foi de 1mm tanto
399 para o dispositivo dentossuportado, como para o osseossuportado,
400 corroborando com os estudos de Ilizarov²⁸ que afirmam que a formação de
401 osso de melhor qualidade e com melhores resultados para tecidos moles
402 (periósteo, vasos, nervos e músculos) se dá através de quatro ativações diárias
403 de 0,25mm cada uma.

404 A análise de deslocamento mostrou, nos grupos 1 e 2 respectivamente,
405 deslocamento da região anterior nulo e de 0,44mm, e o deslocamento da
406 região posterior se deu apenas no grupo 2, sendo ele de 0,21mm. Isso sugere
407 uma maior abertura na região anterior e uma menor abertura na região
408 posterior, promovendo um padrão de abertura em forma de “V”, concordando

409 com achados reportados em outros estudos, que apresentaram abertura
410 assimétrica^{24,26,29}. O deslocamento dental acompanha o deslocamento da
411 maxila no Grupo 2, sendo ele de maior intensidade na região anterior.

412 Com o uso do aparelho osseossuportado, o padrão de abertura foi em
413 forma de “V”, em virtude do posicionamento do disjuntor ser na região dos pré-
414 molares. De acordo com Verstraaten³⁰ o posicionamento do dispositivo na
415 região de molares faz com que a abertura seja mais paralela.

416 Os resultados de tensão de Von Mises apresentam as principais áreas
417 onde há concentração de forças nos dispositivos estudados.

418 Em ambos os grupos há uma grande concentração de forças nos braços
419 conectores do aparelho. No grupo 1, existe ainda um acúmulo de forças na
420 região de pré-molar, já no grupo 2, a força se encontra principalmente na área
421 de transição dentre braço conector e placa. Os valores apresentados nos dois
422 grupos sugerem uma sobrecarga dos dispositivos, podendo levar a fratura dos
423 mesmos.

424 Os resultados das análises de tensão máxima principal definem as
425 principais áreas de tração e compressão das estruturas que foram estudadas.
426 No grupo 1, maiores valores de força se acumulam na região dental,
427 especialmente na região de pré-molar, força essa que pode justificar a
428 vestibularização dental e reabsorção radicular relatadas nos trabalhos nos
429 quais foram usados aparelhos dentossuportados^{2,18}. No grupo 2, há uma
430 distribuição das forças de uma forma mais homogênea, sendo os valores mais
431 altos encontrados na região mais superior do palato duro, dissipando-se para a
432 região de osso alveolar, favorecendo a separação da sutura intermaxilar sem
433 comprometimento dental.

434 Recidivas não são mencionadas como um sério fator a ser considerado
435 no planejamento do caso, porém alguns autores recomendam uma
436 sobrecorreção de 0,5 a 2mm quando usados aparelhos dentossuportados, pelo
437 fatos de poderem provocar vestibularização dental¹⁸. Nos casos nos quais são
438 usados aparelhos osseossuportados, não há a necessidade dessa
439 sobrecorreção^{25,31}, pois não há transmissão de forças para os dentes. O
440 período de estabilização varia entre 3 a 6 meses para que haja consolidação
441 da sutura intermaxilar.

442
443

444 **7 CONCLUSÃO**

445

446 - O aparelho de Battistetti apresentou ótima transmissão de forças diretamente
447 à maxila sem comprometimento às estruturas dentais.

448

449 - O aparelho de Hyrax recebe uma grande carga nos braços conectores
450 quando é ativado, podendo essa carga levar a fratura do dispositivo, além de
451 transmitir força aos elementos dentais.

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469 **8. BIBLIOGRAFIA**

470

- 471 1- Günbay MT, *et al.* Borne Distractor: Clinical Observations and dental
472 and skeletal changes J Oral Maxillofac Surg. 2008; 66: 2503-2514.
473
- 474 2- Ramieri GA, Spada MC, Musta M, Bianchi SD, Berrone S. Transverse
475 maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal
476 effects and clinical and radiological results. Int. J. Oral Maxillofac Surg.
477 2005; 34: 357–363.
- 478
- 479 3- Vandersea BA, Ruvo AT, Frost DE. Maxillary Transverse Deficiency
480 Surgical Alternatives to Management - Oral Maxillofac Surg Clin N Am.
481 2007; 19: 351–368.
- 482
- 483 4- Betts NJ, Vanarsdall RL, Barber HD, *et al.* Diagnosis and treatment of
484 transverse maxillary deficiency. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.
485 1995; 10: 75-96.
- 486
- 487 5- Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary
488 expansion. British J. Oral and Maxillofac Surg. 1999; 37: 268–272.
- 489
- 490 6- Han UA, Kim Y, Park JU. Three-dimensional finite element analysis of
491 stress distribution and displacement of the maxilla following surgically
492 assisted rapid maxillary expansion . J Cranio-Maxillofac Surg. 2009; 37:
493 145-154.
- 494
- 495 7- Haas AJ. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial
496 orthopedics. Am J Orthod. 1970; 57: 219–255.
- 497
- 498 8- Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KGH, Wolvius EB, Prahli-Andersen
499 B, Schulten AJM. Surgically assisted rapid maxillary expansion
500 (SARME): a review of the literature. Int J Oral Maxillofac Surg. 2005; 34:
501 709–714.
- 502

- 503 9- Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity
504 by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 1961; 2: 73-90.
- 505
506 10- Deeb W, *et al.* Changes in nasal volume after surgically assisted bone-
507 borne rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010;
508 137: 782-789.
- 509
510 11-Pektas ZO, Kircelli BH, Cilasun U. Modified Osteotomy to Manage
511 Anterior Constriction With Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion
512 *J Oral Maxillofac Surg* 2008; 66: 1538-1541
- 513
514 12-Pereira MD, Prado GP, Abramoff MMF, Aloise AC, Ferreira LM.
515 Classification of midpalatal suture opening after surgically assisted rapid
516 maxillary expansion using computed tomography. *Oral Surg Oral Med*
517 *Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010; 110: 41-45.
- 518
519 13-Seeberger R, Karter W, Davids R, Thiele OC. Long term effects of
520 surgically assisted rapid maxillary expansion without performing
521 osteotomy of the pterygoid plates *J Cranio-Maxillo-Facial Surg.* 2010; 38:
522 175-178.
- 523
524 14-Bays RA, Greco JG. Surgically assisted rapid palatal expansion: an
525 outpatient technique with long term stability. *J Oral Maxillofac Surg* 1992;
526 50: 110–113.
- 527
528 15-Reinbacher E, Wallner J, Pau M, Feichtinger M, Ka¨rcher H,
529 Quehenberger F, Zemmann W. Surgically assisted rapid maxillary
530 expansion : feasibility of not releasing the nasal septum. *Int. J. Oral*
531 *Maxillofac Surg.* 2013; 42: 321–325.
- 532
533 16-Bell WH, Epker NB. Surgical-orthodontic expansion of the maxilla. *Am J*
534 *Orthod.* 1976; 70: 517–528.
- 535

- 536 17-Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by
537 the Ilizarov technique. *Clin Orthop*. 1990; 8: 81–104.
538
- 539 18-Cortese A, Savastano G, Savastano M, Spagnuol G, Papa F. New
540 Technique: Le Fort I Osteotomy for Maxillary Advancement and Palatal
541 Distraction in 1 Stage *J Oral Maxillofac Surg*. 2009; 67: 223-228.
542
- 543 19-Iida S, Haraguchi S, Aikawa T, Yashiro K, Okura M, Kogo M.
544 Conventional bone-anchored palatal distractor using an palatal expander
545 for the transverse maxillary distraction osteogenesis: technical note. *Oral
546 Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008; 105: 8-11.
547
- 548 20- Battistetti G, Sinegalia AC, Fleig CN, Bombonatti R. Nova proposta de
549 expansor maxilar com ancoragem óssea: relato de caso clínico. *Dental
550 Press*. 2010; 10: 55-65.
551
- 552 21- Lotti RS, Machado AW, Mazzeiro ET, et al: Applicability of finite element
553 method. *Rev Dental Press Ortod Ortop Facial*. 2006; 11:35
554
- 555 22- Boyor A, Geiger M, Hohmann A, et al: Stress distribution and
556 displacement analysis during an intermaxillary disjunction—A
557 threedimensional FEM study of a human skull. *J Biomech*. 2008; 41:376.
558
- 559 23- Woods M, Wisenfeld D, Probert T: Surgically-assisted maxillary
560 expansion. *Aust Dent J* 1997; 42:38.
561
- 562 24- Assis DSRF, Xavier TA, Noritomi PY, Gonçalves ES. Finite element
563 analysis after SARPE. *J Oral Maxillofac Surg* 2014; 72:167.
564
- 565 25-Pereira MD, Prado GPR, Abramoff MMF. Classification of midpalatal
566 suture opening after surgically assisted maxillary expansion using
567 computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol
568 Endod* 2010; 110: 41.
569

- 570 26-Scolozzi P, Verdeja R, Herzog G, Jaques B: Maxillary expansion using
571 transpalatal distraction in patients with unilateral cleft lip and palate. *Plast*
572 *Reconstr Surg* 2007; 119: 2200-2205
- 573
574 27-Tausche E, Hansen L, Hietschold V, Lagravere MO, Harzer W:
575 Threedimensional evaluation of surgically assisted implant bone-borne
576 rapid maxillary expansion: a pilot study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*
577 2007; 131: 92-99.
- 578
579 28-Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of
580 tissues. Part II. The influence of rate and frequency of distraction. *Clinical*
581 *Orthopaedics and Related Research* 1989; 263: 249–285.
- 582
583 29-Koudstaal MJ, van der Wal KG, Wolvius EB: Experience with the trans
584 palatal distractor in congenital deformities. *Mund Kiefer Gesichtschir*
585 2006; 10: 331-334.
- 586
587 30-Veerstraten J, Kuijpers AM, Mommaerts MY, *et al.* A systematic review of
588 the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. *J*
589 *Cranio Maxillofac Surg* 2010; 38: 166-174.
- 590
591
592 31- Koudstaal MJ *et al.* Surgically assisted maxillary expansion (SARME). A
593 review of the literature. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2005; 34: 709–714.
594
595
596
597
598

599 **9. ANEXOS**
600



SIPESQ
Sistema de Pesquisas da PUCRS



Código SIPESQ: 6898

Porto Alegre, 29 de dezembro de 2015.

Prezado(a) Pesquisador(a),

A Comissão Científica da FACULDADE DE ODONTOLOGIA da PUCRS apreciou e aprovou o Projeto de Pesquisa "ESTUDO COMPARATIVO DA DISSIPACÃO DE FORÇAS E EFICIÊNCIA ENTRE O APARELHO DE HYRAX E O APARELHO DE BATTISTETTI ATRAVÉS DE ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS" coordenado por CLAITON HEITZ. Caso este projeto necessite apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e/ou da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), toda a documentação anexa deve ser idêntica à documentação enviada ao CEP/CEUA, juntamente com o Documento Unificado gerado pelo SIPESQ.

Atenciosamente,

Comissão Científica da FACULDADE DE ODONTOLOGIA

601



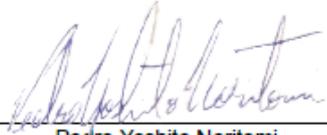
Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

Campinas, 17 de dezembro de 2015.

Carta de Parceria

Eu, Pedro Yoshito Noritomi, pesquisador alocado na Divisão de Tecnologias Tridimensionais do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, unidade de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, SIAPE 2045243, coordenador do grupo de bioengenharia desta divisão, informo que ofereceremos apoio ao projeto de mestrado intitulado "ESTUDO COMPARATIVO DA DISSIPACÃO DE FORÇAS E EFICIÊNCIA ENTRE O APARELHO DE HYRAX TRADICIONAL E O MODIFICADO ATRAVÉS DE ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS", proposto pelo pesquisador Flávio Henrique Silveira Tomazi, sob orientação do Professor Doutor Cláiton Heitz, do CTBMF da PUC do Rio Grande do Sul.

Sem mais para o momento, fico à disposição paa quaisquer informações.



Pedro Yoshito Noritomi
Divisão de Tecnologias Tridimensionais
Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer