

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA
MESTRADO EM PRÓTESE DENTÁRIA**

CARLOS AUGUSTO GOMES DA SILVA

**CONSTRUÇÃO DE UM BIOMODELO COM INTERPOSIÇÃO DE PLACA
OCCLUSAL PARA ANÁLISE DE TENSÕES NOS DISCOS ARTICULARES DA ATM
PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia, área de concentração em Prótese Dentária da Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Lima Grossi

Porto Alegre

2016

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi verificar a possibilidade da criação de um modelo tridimensional do sistema mastigatório de um paciente para análise em MEF. E também, configurar os parâmetros para a realização de um teste de apertamento dentário com variações nas intensidades de força de mordida com a interposição de duas placas oclusais de diferentes materiais. A partir dos exames de tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM) de um paciente foram construídos, por meio de engenharia reversa, sete peças para compor um biomodelo. Quatro *softwares* foram usados em todo o processo até atingir o resultado desejado. Ainda, a partir deste modelo foi criada a malha de elementos finitos dos componentes e definidas as condições de contorno. Uma placa oclusal foi criada e suas propriedades físicas e mecânicas foram alternadas para simular o comportamento de duas placas distintas: uma rígida e uma resiliente. O modelo recebeu vetores de força que simularam a ação de quatro pares de músculos: temporal, masséter, pterigoideo medial e lateral; e foi atribuído a estes, três forças distintas para cada teste: 250N, 500N e 750N. De acordo com o que foi apurado neste estudo é possível concluir que a construção de um biomodelo a partir de imagens de TC e RM é plenamente viável. Além disso, a metodologia adotada para obtenção dos modelos e as configurações definidas para os testes em MEF resultaram em uma boa aproximação a realidade clínica seguindo a linha das pesquisas vigentes.

Palavras - Chave¹: Engenharia Reversa. Análise por Elementos Finitos. Placas Oclusais. Bruxismo.

¹ DeCS: Descritores em ciência da saúde [Internet]. São Paulo: Bireme; 2014. [Acesso: 20 de Junho de 2014]. Disponível em: <http://decs.bvs.br>.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the possibility of creating a three-dimensional model of the masticatory system of a patient for analysis in MEF. Also, to configure the parameters for the attainment of a clenching test with variations in intensities bite force with the interposition of two occlusal splints of different materials. Using the computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) of a patient, were built, through the process of reverse engineering, seven pieces to compose a biomodel. Four software was used throughout the process to achieve the desired result. Also, from this model was created finite element mesh of components and defined the boundary conditions. An occlusal splint was created and its physical and mechanical properties were switched to simulate the behavior of two different plates: a rigid and resilient. The model received force vectors that simulate the action of four pairs of muscles: temporal, masseter, medial pterygoid and lateral; and was assigned to these three distinct forces for each test: 250N, 500N and 750N. According to what was found in this study it can be concluded that the construction of a biomodel from CT and MR images are completely feasible. In addition, the methodology used to obtain the models and the settings configured for the tests in MEF resulted in a good approach to clinical reality along the lines of current research.

Key - Words²: *Reverse engineering. Finite Element Analysis. Occlusal Splints. Bruxism.*

² MeSH (Medical Subject Heading) [Internet]. National Library of Medicine (US); 2014-. (Acesso: 20 de Junho de 2014). Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Articulação temporomandibular.....	17
2.2 Bruxismo	18
2.3 Placas Oclusais	21
2.4 Elementos Finitos.....	23
3 OBJETIVOS	25
3.1 Objetivo geral.....	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
4 METODOLOGIA	26
4.1 Critérios de inclusão da amostra e preparação para os exames de imagem.....	26
4.1.1 Tomografia computadorizada e ressonância magnética	28
4.2 Obtenção da geometria por engenharia reversa	29
4.2.1 Manipulação das imagens no InVesalius 3.0 [®]	30
4.2.2 Criação dos Modelos	30
4.2.3 Convertendo as superfícies em sólidos	32
4.2.3.1 <i>Nuvem de pontos</i>	32
4.2.3.2 <i>Geração da malha superficial</i>	32
4.2.3.3 <i>Criando a superfície e corpo sólido</i>	34
4.3 Obtenção da geometria por modelagem manual.....	36
4.3.1 Modelagem manual da placa oclusal.....	36
4.3.2 Modelagem manual dos discos articulares.....	37
4.4 Configuração do modelo CAE para análise numérica	38
4.4.1 Propriedades do modelo experimental	38

4.4.2 Lei de comportamento do disco.....	38
4.4.3 Placa oclusal.....	40
4.4.3.1 Placa rígida.....	40
4.4.3.2 Placa resiliente.....	40
4.3.4 Vetores de forças.....	41
4.4.5 Intensidades de forças.....	45
5 RESULTADOS.....	47
5.1 Imagens obtidas a partir dos exames de TC e RM.....	47
5.2 Sólidos gerados a partir das imagens.....	48
5.3 Malhas de elementos finitos geradas a partir dos sólidos.....	49
5.4 Montagem do sistema temporomandibular.....	50
5.5 Validação do tamanho do modelo.....	51
5.6 Análise dos dados.....	51
6 DISCUSSÃO.....	52
6.1 Exames de imagens e técnica de aquisição.....	52
6.2 Qualidade dos biomodelos e das malhas de elementos finitos.....	53
6.3 Critérios de configuração do modelo CAE.....	55
7 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE A - CRONOGRAMA.....	67
APÊNDICE B - ORÇAMENTO.....	68
APÊNDICE C - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	69
ANEXO A - AUTORIZAÇÃO DO USO DO LABORATÓRIO.....	72
ANEXO B - COMISSÃO CIENTÍFICA DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA.....	73
ANEXO C - COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	74

1 INTRODUÇÃO

A união dos conhecimentos entre as áreas da engenharia e da odontologia aplicada as recentes pesquisas com a utilização de ferramentas computacionais vem se tornando cada vez mais relevantes no meio científico, devido a sua aplicabilidade, versatilidade e fidedignidade de resultados ¹.

O método dos elementos finitos (MEF) é um método matemático que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as propriedades do meio original ². E foi desenvolvido para prever o comportamento mecânico de estruturas complexas na engenharia civil e aeronáutica, frequentemente relacionada aos aspectos de segurança.

A sua viabilização tornou-se possível somente a partir do advento dos computadores por volta de 1960, facilitando a resolução das enormes equações algébricas ².

A busca por soluções de diversos problemas clínicos e de diagnóstico, incluindo a busca de tratamentos mais eficientes, está relacionada com o uso racional das informações que este tipo de ferramenta pode disponibilizar. E assim, auxiliar na resposta de uma série de questões relacionadas a biomecânica dos dentes e maxilares ³.

A dificuldade de realizar estudos diretamente em seres humanos tem levado a busca por estudos indiretos, chamados de modelagem teórica ⁴. O MEF pode ser utilizado em diversas áreas das ciências exatas e biológicas, e devido a sua grande aplicabilidade e eficiência existem trabalhos com esta metodologia nas diversas especialidades odontológicas ⁵⁻⁷.

Nos estudos da ATM permite analisar a distribuição de tensões nos discos articulares, pois é capaz de avaliar áreas de difícil acesso sem causar riscos ao paciente⁴. A análise por elementos finitos deve levar em conta as condições de carga nas ATMs, pois está intimamente relacionada a etiologia dos distúrbios desta articulação ⁸.

Para se obter a geometria para análise em MEF é necessário construir um biomodelo a partir das informações disponíveis nos exames de imagens médicas. A modelagem de ossos e tecidos moles, usando tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM) tem possibilitado juntamente com *softwares* de análise construir modelos específicos para cada paciente⁹.

O bruxismo é um hábito parafuncional dos músculos mastigatórios que resulta no apertamento e rangido dos dentes principalmente durante o sono. Essa condição não é uma doença; porém, quando exacerbada pode ocasionar desequilíbrio e alteração das estruturas orofaciais ¹⁰. O apertamento prolongado é sugestivo de sobrecarga funcional da ATM ¹¹. As placas oclusais tem sido frequentemente usadas como um tratamento efetivo nesta situação para proteger os dentes dos danos causados pela contração violenta dos músculos mandibulares ou para redução da dor orofacial ¹².

Muitos estudos foram feitos neste sentido a fim de avaliar e qualificar as indicações, benefícios e desvantagens das diferentes placas oclusais utilizadas ¹²⁻¹³.

Entretanto, pouco se sabe sobre como estes dispositivos interferem na distribuição de tensões na ATM durante o apertamento dentário prolongado nos episódios de bruxismo.

Para se realizar tal análise é preciso construir um modelo do sistema temporomandibular de um paciente e definir os parâmetros que representem uma situação clínica. A construção bem feita dos modelos é fundamental para realizar uma análise correta.

A possibilidade de criar um modelo tridimensional que possibilite simulações pelo MEF a fim de avaliar as tensões geradas sobre os discos da ATM são as motivações deste estudo.

7 CONCLUSÕES

Dentro dos objetivos propostos, da metodologia aplicada e dos resultados obtidos, pode-se preconizar que:

- A construção de um biomodelo tridimensional do sistema mastigatório, a partir de imagens de TC e RM para análise em MEF se mostrou plenamente exequível;
- A estratégia adotada para a obtenção das geometrias dos modelos por engenharia reversa, num ambiente CAD, apresentou um exímio resultado e aproximação à realidade clínica;

A definição das propriedades físicas e mecânicas, condições de contorno, e demais configurações adotadas para o modelo CAE, visando a análise estrutural em MEF, são factíveis e estão de acordo com as linhas de pesquisas vigentes.