

# PROJETO DE PESQUISA

Iniciação Científica – UFABC

Edital nº 04/2022

## Aplicação da Otimização Topológica ao Projeto de uma Prótese de Articulação Temporo-Mandibular

### 1 RESUMO

A mandíbula é um importante elemento estrutural da face, que integra o sistema estomatognático. Sua importância funcional vai desde servir como alavanca para o movimento mastigatório até absorver e dissipar as forças da mastigação. Uma prótese de Articulação Temporo-Mandibular (ATM) deve ser capaz de simular essas propriedades da mandíbula. A Otimização Topológica consiste num método computacional poderoso de otimização estrutural que permite projetar a topologia ótima de uma dada estrutura. Na área biomédica, o método de Otimização Topológica (MOT) pode auxiliar no estudo e na confecção de próteses, órteses e outras estruturas relacionadas. O principal objetivo deste projeto de iniciação científica é aplicar o MOT na projeção de uma prótese de ATM. Para isso, será utilizado um software comercial de Otimização Topológica para projeto de estruturas com máxima rigidez sujeitas a restrição de peso.

**Palavras-chave:** otimização topológica, elementos finitos, Articulação Temporo-Mandibular.

### 2 INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

A Otimização Topológica (OT) consiste num método computacional de otimização estrutural que determina a topologia ótima de uma dada estrutura segundo critérios pré-estabelecidos (por exemplo, máxima rigidez e menor peso) [1]. Para isso, a OT discretiza o domínio em elementos finitos, e determina por meio destes quais pontos precisam de material ou não, para resistir às forças aplicadas.

As estruturas ósseas já possuem alguns estudos que analisam suas estruturas ou próteses substitutas por meio da OT [2, 3]. No entanto, ainda existe muito espaço para novas aplicações

da OT na área biomédica a serem estudadas. Este trabalho busca aplicar a OT na projeção de uma prótese de Articulação Temporo-Mandibular (ATM). Embora existam diversos tipos de próteses de ATM e especificidades atreladas a cada tipo [4], este trabalho focará suas atenções no aspecto funcional da estrutura de uma prótese condilar simples de ATM (Figura 1).

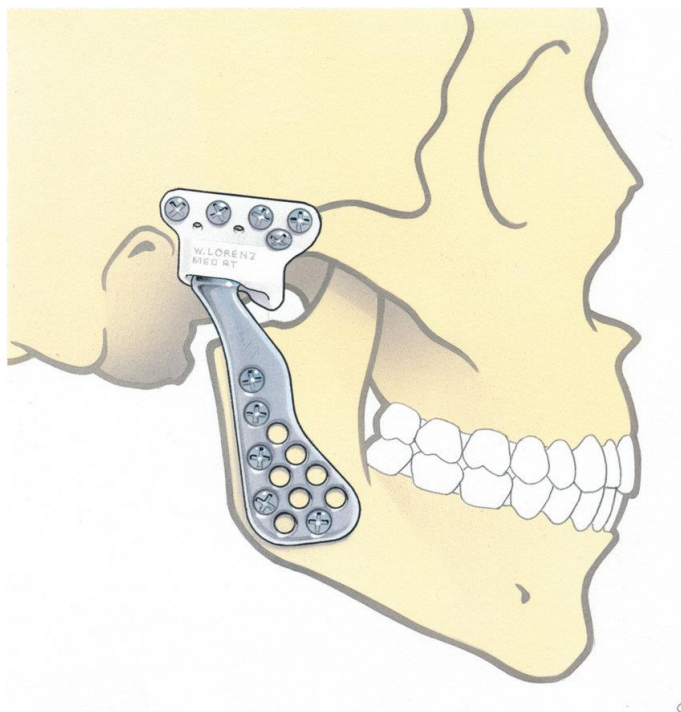


Figura 1 - Prótese de Articulação Temporo-Mandibular (ATM)

Um algoritmo de otimização estrutural, baseado na OT, combina essencialmente métodos de otimização com o Método dos Elementos Finitos (MEF) [5], com o objetivo de distribuir o material no interior de um domínio fixo discretizado em elementos finitos. Assim, cada elemento finito assume um material que varia entre A (ausência de material) e B (o material da estrutura). Cada material desses tem uma densidade, e o material de um elemento finito pode assumir a densidade de A, de B, ou de qualquer valor intermediário entres os mesmos, tornando-se assim materiais que não são nem o material da estrutura, e nem ausência de material. Para prevenir esse problema, usa-se um modelo de material, como o SIMP (Simple Isotropic Material with Penalization) [1], que força a densidade a assumir o valor 0 ou 1. Com isso, a propriedade ( $\mathbf{c}$ ) do material de cada elemento é dada por:

$$\mathbf{c}(x) = \rho(x)^p \mathbf{c}_0; \quad 0 \leq \rho(x) \leq 1 \quad (1)$$

onde  $\mathbf{c}_0$  é a propriedade de um material base usado no projeto (metal da estrutura, por exemplo),  $\rho$  é a variável de projeto (denominada “pseudo-densidade”) e  $p$  é um coeficiente que penaliza os

materiais intermediários.

O problema de otimização topológica para obter máxima rigidez com mínimo volume de material numa estrutura é dado pela seguinte formulação clássica do MOT [6]:

$$\begin{aligned} &\text{Minimizar } C(\rho_i) \\ &\text{Tal que } \begin{array}{l} \text{equação de equilíbrio} \\ \sum_i^N v_i \rho_i \leq V \\ 0 \leq \rho_i \leq 1, \quad i=1 \dots N \end{array} \end{aligned} \tag{2}$$

onde  $C(\rho_i)$  é a função objetivo relacionada com a flexibilidade média,  $v_i$  é o volume do elemento no domínio discreto e  $v_i$  é a variável do problema.

Assim, para encontrar a distribuição ótima, em cada iteração do método de Otimização Topológica, a distribuição de material é alterada utilizando o algoritmo de otimização e o domínio corrente é analisado pelo MEF para o cálculo da função objetivo e restrições. As iterações prosseguem até que se atinja a convergência no valor da função objetivo.

O presente trabalho de iniciação científica visa permitir que o aluno explore os conceitos e aplicação do MOT para projeto de estruturas bucomaxilofaciais. No projeto, o problema será estudado através da utilização de um software comercial de Otimização Topológica (OptiStruct), bem como modelagem e simulação computacional de estruturas otimizadas para uma prótese de Articulação Temporo-Mandibular (ATM).

### 3 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho de Iniciação Científica consiste em explorar os conceitos e aplicação do MOT para projeto de estruturas bucomaxilofaciais, bem como modelagem e simulação computacional de estruturas otimizadas para uma prótese de Articulação Temporo-Mandibular (ATM). Este projeto será realizado através da construção de modelos geométricos em software de CAD, bem como modelos de elementos finitos em software de CAE, para verificação do comportamento da estrutura de uma prótese condilar simples de ATM. Espera-se que esse trabalho contribua com uma ferramenta computacional útil para estabelecimento de uma metodologia de projeto para este tipo de dispositivo biomédico.

### 4 PLANO DE TRABALHO

#### 1ª. ETAPA

Revisão bibliográfica sobre o tema, incluindo os conceitos fundamentais sobre modelagem com elementos finitos, o método de Otimização Topológica e dispositivos biomédicos. O orientador indicará a bibliografia a ser estudada pelo aluno e fornecerá o material necessário (artigos, teses, livros, apostilas etc.), atribuindo-lhe essencialmente os tópicos básicos para desenvolver o trabalho de iniciação científica proposto.

## 2ª. ETAPA

Essa etapa envolve a familiarização com um software de CAD para modelagem geométrica da estrutura de uma prótese condilar simples de ATM. Isto será feito através do estudo e uso de manuais e tutoriais do software para diferentes exemplos de aplicação. Desta forma, definir-se-á a geometria da estrutura a ser analisada.

## 3ª. ETAPA

Em seguida, será realizada o estudo sobre modelagem em elementos finitos em um software de CAE comercial (HyperWorks). O aluno deverá estudar os conceitos básicos do método dos elementos finitos e se familiarizar com o procedimento de geração de malhas nesse software, bem como os recursos do software para executar a análise estrutural necessária para o trabalho. Para isso, serão estudados os manuais e tutoriais sobre análise estrutural disponíveis no software.

## 4ª. ETAPA

Nesta etapa, será realizada o estudo sobre a aplicação da otimização estrutural em um software de OT comercial (OptiStruct). O aluno deverá se familiarizar com o procedimento para executar e obter os resultados de OT nesse software. Para isso, serão estudados os manuais e tutoriais sobre otimização estrutural disponíveis no software.

## 5ª. ETAPA

Nesta etapa, serão realizadas a modelagem e a simulação computacional do modelo de elementos finitos da estrutura da prótese de ATM obtida pelo software de OT, para avaliação do comportamento estrutural da mesma. Ajustes ao projeto da estrutura também serão realizados durante essa etapa. O aluno aprenderá como executar o pós-processamento do resultado da OT e analisar o resultado pós-processado no software de elementos finitos.

## 6ª. ETAPA

Essa etapa envolve a elaboração e escrita de relatórios do projeto (parcial e final), que descreverá todas as atividades realizadas, apresentando e discutindo resultados obtidos e as dificuldades encontradas.

#### 4. CRONOGRAMA DO PROJETO

O cronograma de execução do plano de trabalho, proposto para o período de 12 meses, é mostrado na tabela abaixo:

Etapa/Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 <sup>a</sup> .	X	X										
2 <sup>a</sup> .		X	X	X								
3 <sup>a</sup> .			X	X	X	X	X					
4 <sup>a</sup> .						X	X	X	X			
5 <sup>a</sup> .									X	X	X	
6 <sup>a</sup> .						X						X

#### 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo sólido da estrutura de uma prótese condilar simples de ATM será feito com o auxílio de um software de CAD (SolidWorks), que permite a confecção de desenhos 3D. Para desenvolver a análise estrutural e a Otimização Topológica da estrutura será utilizado o software OptiStruct na plataforma HyperWorks da ALTAIR. Para processamento dos softwares envolvidos no projeto será utilizado um computador de alta performance (2 processadores Xeon Quad Core e 24 Gb de memória). Os softwares e o computador necessários para o projeto encontram-se disponíveis no Laboratório de Mecânica Computacional do CECS e também podem ser acessados remotamente, caso seja necessário. A literatura necessária para o desenvolvimento do projeto está disponível em livros da biblioteca da universidade e do orientador, bem como em periódicos internacionais disponíveis no portal da CAPES e assinaturas de revistas eletrônicas adquiridas pela universidade.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M.P. Bendsøe and O. Sigmund., “Topology Optimization: theory methods and applications”, Berlin: Springer–Verlag, ISBN 3-540-42992-1, 2003.
- [2] A. Sutradhar et al., “Topological optimization for designing patient-specific large

- craniofacial segmental bone replacements.” Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America vol. 107, 30 (2010).
- [3] J. Park, A. Sutradhar, J. J. Shah, G. H. Paulino, “Design of complex bone internal structure using topology optimization with perimeter control”, Computers in Biology and Medicine (2018).
  - [4] J. P. Van Loon et al., “Evaluation of temporo-mandibular joint prostheses: review of the literature from 1946 to 1994 and implications for future prosthesis designs”, Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, vol. 53, 9 (1995).
  - [5] K. J. Bathe, “Finite Element Procedures”. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
  - [6] M. P. Bendsøe and N. Kikuchi, “Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method”, Comp. Methods in Appl. Mech. and Eng., 71, 197-224, 1988.