



SIMULAÇÃO NUMÉRICA POR ELEMENTOS FINITOS APLICADA A PRÓTESES CUSTOMIZADAS FABRICADAS EM LIGA Ti6Al4V POR MEIO DE MANUFATURA ADITIVA – MÉTODO EBM

Gabriela M. Fernandes^{1*} e Leonel Q. M. de Oliveira¹

1 – Departamento de Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal de Ciência, Tecnologia e Educação de São Paulo (IFSP). Avenida Salgado Filho, 3501, Guarulhos, CEP 07115-000, SP.

marques.gabriela@aluno.ifsp.edu.br

RESUMO

Com a falta de uma normatização por parte da ANVISA para próteses customizadas, e tendo em vista que hoje as pessoas que necessitam deste serviço são obrigadas a dar consentimento e assumir todos os riscos provenientes do processo, sem que haja, por parte do paciente e do fornecedor, conhecimento adequado sobre as propriedades mecânicas e microestruturais do material e do produto, este trabalho visa estudar a viabilidade e validar a utilização de próteses customizadas feitas com manufatura aditiva com o método de fusão por feixe de elétrons (EBM). É apresentado um estudo com resultados sobre a validação dos comportamentos mecânicos de próteses de mandíbula customizadas de Ti-6Al-4V, através de ensaios mecânicos e simulações de análise estrutural estática feitas por meio de softwares de Engenharia Assistida por Computador, que opera com Método dos Elementos Finitos. Foram realizadas 5 simulações, variando as solicitações mecânicas no intervalo de 200 a 500 N (forças usuais na mastigação) nas regiões cilíndricas frontais e posteriores da prótese, e foram investigados gráficos de tensão de Von Mises e deslocamento. A partir dos resultados da análise, pode-se perceber que para a maioria dos casos a tensão de Von Mises permaneceu abaixo do limite de escoamento do material (827,34 MPa), com deformações na zona elástica, o que implica em fadiga de alto ciclo e uma maior vida útil para a prótese. Porém para o caso mais crítico, a tensão máxima de Von Mises encontrada (869,86 MPa) supera o limite de escoamento utilizado, demonstrando necessidade de cautela para este caso.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Elementos Finitos, EBM, Ti6Al4V, Próteses Customizadas.

INTRODUÇÃO

Devido à necessidade da empresa Ortosintese – Ortopedia e Equipamentos, de verificar os comportamentos mecânicos de suas próteses, uma vez que estes parâmetros não são definidos ainda pela ANVISA, pois tais dispositivos são produzidos através de um método relativamente recente, o Electron Beam Melting (EBM), foi solicitado ao IFSP um estudo utilizando Método dos Elementos Finitos (MEF) para prever tais comportamentos, de modo que a empresa foi provedora não só do objeto de estudo, bem como da bolsa dos pesquisadores, através de um acordo de cooperação. Tal estudo, ao qual o trabalho apresentado a seguir se baseia, foi denominado “Projeto piloto de pesquisa e desenvolvimento de métodos de validação computacional para estruturas de próteses ortopédicas, fabricadas por processo de adição ou

extração de materiais, usando o método dos elementos finitos: análise estrutural e tribológica e projeto avaliação de parâmetros tribológicos.”.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade e validar a utilização de próteses customizadas feitas com manufatura aditiva com o método de fusão por feixe de elétrons (EBM), além de estabelecer uma metodologia de simulação por elementos finitos (MEF); analisar os campos de tensões, deformações e deslocamentos decorrentes dos carregamentos mecânicos em próteses; viabilizar a utilização de próteses customizadas e fabricadas pelo método EBM; e realizar o estudo de um caso real com prótese customizada através do Método dos Elementos Finitos. Nesta abordagem, a análise de tensões por elementos finitos foi considerada como ferramenta de investigação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O dispositivo utilizado neste estudo foi fornecido pela empresa Ortosintese – Ortopedia e Equipamentos. A legislação utilizada para dispositivos médicos customizados é a RDC 305/2019⁽¹⁾. Como na ASTM não constam valores máximos de tensão a serem resistidos pelas peças customizadas (fabricadas em MA) de acordo com suas aplicações quando descreve as técnicas de ensaios mecânicos, as próteses estudadas passaram por simulações CAE.

Estas simulações foram realizadas utilizando análise estrutural estática por meio do Método dos Elementos Finitos (MEF), e foram concebidas através do software Abaqus/Standard (método implícito), com intuito de verificar seus pontos críticos, sua eficácia e sua segurança, permitindo em casos não satisfatórios, definir os caminhos a serem seguidos para otimizar as peças de modo a adequá-las a suas aplicações, tal como aumento de material nas zonas críticas sem impactar na técnica cirúrgica, sendo posteriormente reavaliada pelo médico cirurgião.

Geometria

A geometria da prótese bucomaxilar foi baseado na técnica de próteses subperiosteal maxilar, procedimento cirúrgico no qual o osso maxilar é exposto de modo que o implante possa ser inserido e, após a recuperação, o protético é inserido em seus suportes. Como esta técnica de implante não é ancorada dentro do osso (dispositivos endo-ósseos), conforme mostrado na Figura 1, é necessário a realização de análise críticas para verificar sua segurança e eficácia⁽²⁾.

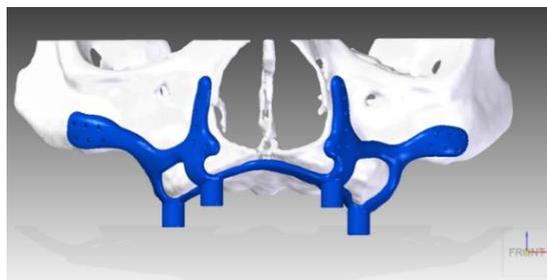


Figura 1: Prótese buco maxilar encaixada no crânio

Material

Para a realização dessa simulação, utilizou-se as seguintes propriedades do Ti-6Al-4V, obtidas através do grupo de pesquisa LADECAM: Limite de escoamento de 827,4 MPa; Módulo de Young de 104,8 GPa; Coeficiente de Poisson igual a 0,31; e Massa Específica equivalente a 4,43 g/cm³.

Para a simulação, engastaram-se os furos em contato com o osso bucomaxilar, mostrado na Figura 2(a), e aplicou-se o carregamento nas faces mais externas dos cilindros onde serão colocados os parafusos de fixação da prótese, conforme mostrado na Figura 2(b).

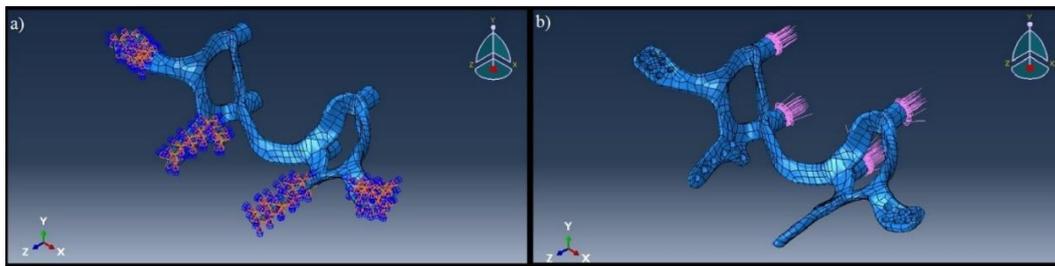


Figura 2: Indicação do engastamento da prótese (a); Indicação dos carregamentos na prótese (b)

Para definição dos valores de carregamento aplicado, utilizaram-se valores de carga de 200 N, 300 N e 500 N, considerados críticos e de difícil atingimento durante a mastigação⁽³⁾. Para se definir a maneira mais adequada de como esses valores seriam distribuídos na prótese, dividiu-se a simulação em 2 etapas para a posterior análise dos resultados:

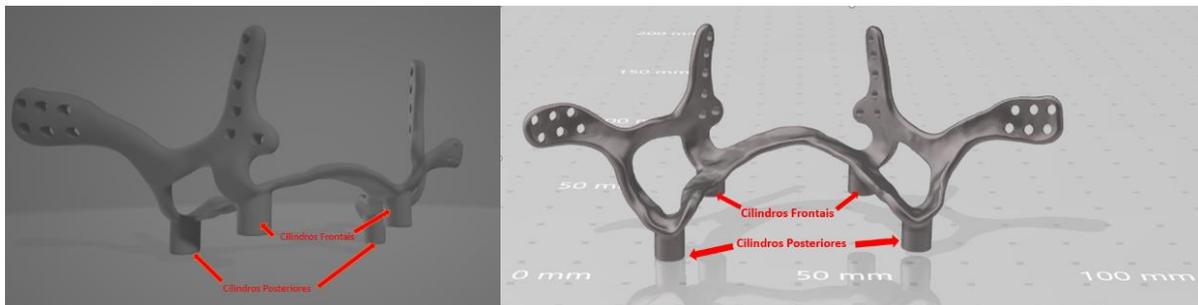


Figura 3: Prótese com indicações das localizações dos cilindros (Frontais e Posteriores) em duas vistas

As simulações empregadas no estudo foram realizadas por meio da distribuição da força conforme os casos a seguir: Caso A - com 200 N distribuídos nas bases dos 4 cilindros da prótese; Caso B - com 300 N distribuídos nas bases dos 4 cilindros da prótese; Caso C - com 200 N distribuídos nas bases dos cilindros frontais e 200 N nas bases dos cilindros posteriores; Caso D - com 300 N distribuídos nas bases dos cilindros frontais e 300 N nas bases dos cilindros posteriores; e Caso Crítico - com 300 N distribuídos nas bases dos cilindros frontais e 500 N nas bases dos cilindros posteriores.

Características da malha

Definidos os parâmetros de simulação, gerou-se a malha no software (Figura 4), que apresentou 306.224 nós e 200.537 elementos, sendo este elemento do tipo C3D10 (elemento tetraédrico de uso geral, com 10 nós e 4 pontos de integração).

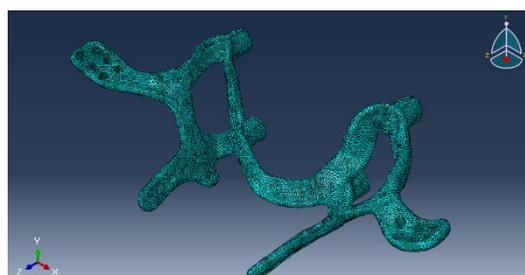


Figura 4: Malha gerada para o modelo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inseridas as condições de contorno e feita a geração da malha, pode-se iniciar o processo de simulação, para permitir a análise dos resultados, os quais são apresentados na sequência, onde os valores de tensão de Von Mises se encontram em MPa e os de deslocamentos em mm, conforme mostra as Figuras 5-9.

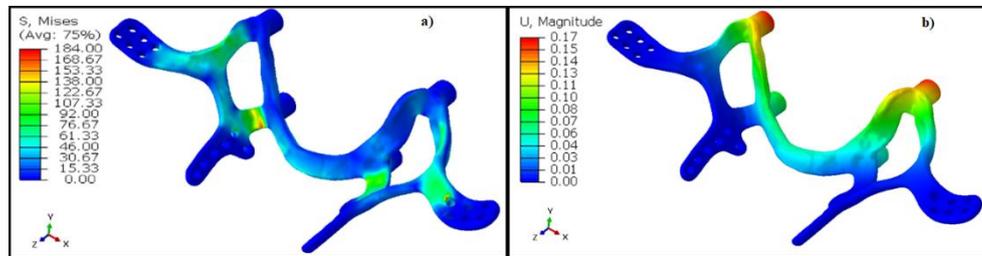


Figura 1: Caso A: (a) Tensões de Von Mises (MPa); (b) Deslocamentos (mm)

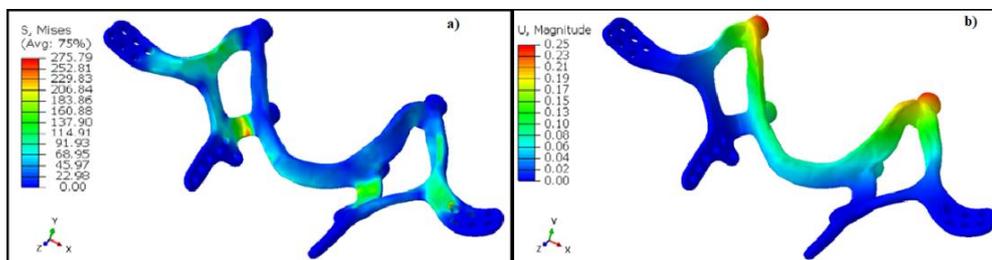


Figura 2: Caso B: (a) Tensões de Von Mises (MPa); (b) Deslocamentos (mm)

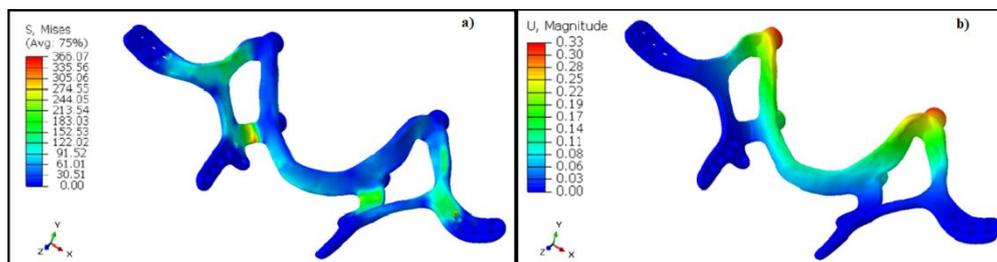


Figura 3: Caso C: (a) Tensões de Von Mises (MPa); (b) Deslocamentos (mm)

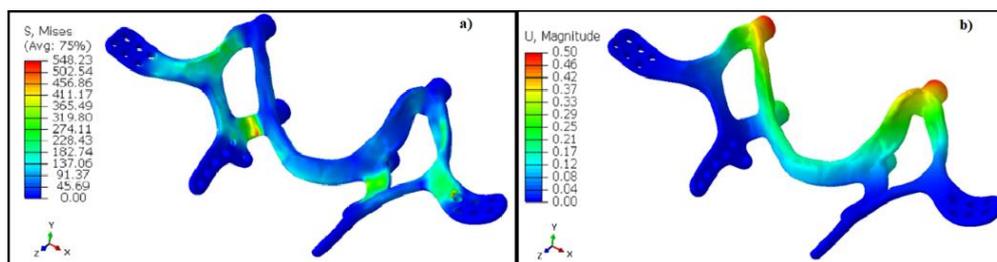


Figura 4: Caso D: (a) Tensões de Von Mises (MPa); (b) Deslocamentos (mm)

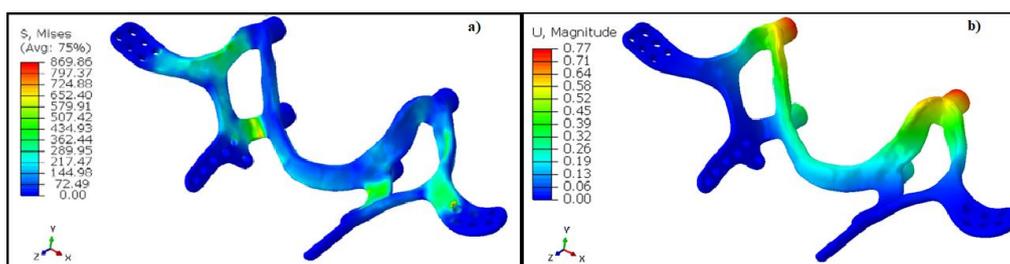


Figura 9: Caso Crítico: (a) Tensões de Von Mises (MPa); (b) Deslocamentos (mm)

CONCLUSÕES

O objetivo geral e objetivos específicos do trabalho foram atingidos, visto que foi possível empregar ferramentas computacionais para avaliar tensões críticas nas próteses customizáveis estudadas. Em adição, propriedades mecânicas obtidas de ensaios de tração da liga de titânio foram inseridas de modo a simular condições e parâmetros reais nos modelos por elementos finitos. A metodologia desenvolvida neste trabalho é tida como contribuição fundamental da abordagem discutida.

Como na maioria dos casos estudados, tirando o caso crítico, as Tensões de Von Mises se encontram abaixo do limite de escoamento utilizado para a liga de Ti-6Al-4V, as deformações encontradas estão abaixo da faixa de deformação plástica, ou seja, se encontram na zona elástica. Isso permite fadiga de alto ciclo, o que consequentemente garante uma vida útil adequada para a prótese de acordo com as literaturas consultadas.

Por fim, como comentário final, dentre os desafios, a geração da malha por elementos finitos em uma estrutura trabecular se mostrou como um dos principais tópicos deste estudo, ressaltando-se que a qualidade da malha é um dos fatores decisivos para as avaliações conduzidas, sendo que análises de convergência são recomendadas nestes processos.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de artigo contou com a ajuda de várias pessoas, entre as quais agradecemos:

Ao nosso orientador Prof. Dr. Wilson Carlos da Silva Junior e a coorientadora Profa. Dra. Vanessa Seriacopi que durante os meses de elaboração do trabalho nos acompanhou pontualmente, prestando-nos toda a assistência necessária para a elaboração do projeto.

Aos nossos pais, que nos incentivaram a cada passo do caminho e possibilitaram que concluíssemos com sucesso este trabalho.

A Fabio Sanches Sant'Ana - Especialista em Manufatura Aditiva - ABNT CEE-261 - Manufatura Aditiva, Tatiane Galindo e Ederson Vieira, Diretores da Ortosintese Indústria e Comércio LTDA, pela aprovação do projeto e todo suporte à pesquisa, mostrando a visão de inovação da empresa.

Aos colaboradores Juan Oliveira e Denis Correia do Setor de AM de Ortosintese, pela disponibilização do case e do material estudado neste trabalho.

E por fim, Valdir Cardoso e Karen Silva da Altair Engineering Inc., pela parceria com o IFSP, que utiliza seu software em diversos projetos e campi, pelo suporte e treinamento do software de análise de elementos finitos.

REFERÊNCIAS

1. ANVISA. RESOLUÇÃO - RDC No 305, DE 24 DE SETEMBRO DE 2019 - 2, 2019. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-305-de-24-de-setembro-de-2019-218018815>>. Acesso em: 21 maio. 2021

2. MOMMAERTS, M. Y. Evolutionary steps in the design and biofunctionalization of the additively manufactured sub-periosteal jaw implant 'AMSJI' for the maxilla. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 48, n. 1, p. 108–114, 2019.
3. BERTOL, L. S. Contribuição Ao Estudo Da Prototipagem Rápida, Digitalização Tridimensional E Seleção De Materiais No Design De Implantes Personalizados. *Ufrgs*, p. 131, 2008.

NUMERIC SIMULATION BY FINITE ELEMENTS APPLIED TO CUSTOM PROSTHESES MANUFACTURED IN Ti6Al4V ALLOY THROUGH ADDITIVE MANUFACTURING - EBM METHOD

ABSTRACT

With the lack of standardization on the part of ANVISA for customized prostheses and in view that today people who need this service are forced to give consent and take all the risks involved in the process, without the necessary knowledge, on the part of the patient and the supplier, about mechanical and microstructural properties of the material and the product, this paperwork aims to study the feasibility and validate the use of customized prosthesis made with additive manufacturing with the electron beam melting (EBM) method. It's presented a study with results about the validation of the mechanical behaviors of the Ti-6Al-4V customized jaw prosthesis, through mechanical tests and static structural analysis simulations made through Computed Aided Engineering software (Abaqus/Standard), which operates with Finite Element Methods. 5 simulations were performed, varying mechanical demands in the range of 200 to 500 N (usual forces in chewing) in the frontal and posterior cylindrical regions of the prosthesis, and Von-Mises stress and displacement graphs were investigated. From the results of the analysis, it can be seen that for most cases, the Von Mises stress remained below the yield limit of the material (827,34 MPa), with deformation in the elastic zone, which implies high cycle fatigue and a longer lifespan for the prosthesis. However, for the most critical case, the maximum Von Mises stress found (869,86 MPa) exceeds the yield limit used, demonstrating the need for caution in this case.

Keywords: *Additive Manufacturing, Finite Element, EBM, Ti6Al4V, Customized Prosthesis.*