

Modelagem computacional de prótese total fixa “all-on-four” para ensaios comparativos

Matheus A. Silva, Marcelo F. Oliveira, Leonardo M. R. Machado

{masilva, marcelo.oliveira, leonardo.machado}@cti.gov.br

Divisão de Tecnologias Tridimensionais – NT3D CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP

Abstract. *This paper describes the modeling and adaptation of a CAD model, based on a physical model that represents a total prosthesis model, which uses the “all-on-four” concept, for a future finite elements analysis. It also demonstrates the importance of modeling a geometry thinking about the interest points of the analysis, making simplifications where necessary so that the finite element mesh is not unnecessarily refined.*

Keywords: *BioCAD, bioengineering, finite elements method, CAD, 3D modeling.*

Resumo. *Este artigo descreve a modelagem e adaptação de um modelo CAD, a partir de um modelo físico que representa um modelo de prótese total fixa, a qual utiliza o conceito de implante “all-on-four”, para uma futura análise de elementos finitos. Também é demonstrada a importância de se modelar uma geometria pensando nos pontos de interesse da análise, fazendo-se simplificações onde necessário para a malha de elementos finitos não ser desnecessariamente refinada.*

Palavras-chave: *BioCAD, bioengenharia, método dos elementos finitos, CAD, modelagem 3D.*

1. Introdução

As características de uma maxila edêntula dificultam a reabilitação de mandíbulas atrofiadas. Dentre o uso de cantilevers ou da cirurgia de enxerto do seio nasal, o conceito “all-on-four” se destaca pois permite a reabilitação de maxilas parcialmente atrofiadas e com volume ósseo mínimo, com menores períodos de tratamento, menores custos e menor morbidade dos pacientes, resultando em uma melhor qualidade de vida [1].

Para análise da influência desse tipo de implante na biomecânica da maxila, são utilizados modelos CAD (Desenho assistido por computador). Estes são confeccionados de acordo com o protocolo BioCAD [2], desenvolvido pelo NT3D, o qual considera os marcos anatômicos de uma estrutura biológica para modelar uma versão padronizada da mesma. Assim pode-se realizar, por meio do método de elementos finitos [3], análises qualitativas de parâmetros de engenharia como campo de tensões, esforços e deslocamentos.

Este artigo tem como objetivo demonstrar a modelagem e preparação da geometria em CAD que representa infraestruturas de próteses totais fixas, aplicadas em tratamentos odontológicos, a qual será utilizada futuramente para auxiliar simulações pelo método dos elementos finitos [1]. As simulações visam a comparação do resultado obtido pelo método dos elementos finitos com ensaios mecânicos realizados em amostras impressas pela tecnologia Electron Beam Melting (EBM), com e sem o tratamento Hot Isostatic Pressing (HIP). Assim será possível auxiliar na determinação de benefícios advindos do tratamento e se o mesmo tem sua utilização justificada.

2. Metodologia

O modelo CAD a ser confeccionado baseia-se no conceito denominado "all-on-four". Este prevê quatro implantes na maxila do paciente, sendo dois deles posicionados axialmente (Figura 1a) na região anterior da crista alveolar e os restantes angulados (Figura 1b) de 30° até 45° em relação a face distal na região posterior [1]. Estes implantes são utilizados para sustentar uma infraestrutura metálica (Figura 1c) que posteriormente será coberta de cerâmica para simular a dentição do paciente. Contudo, para a estudo em questão, apenas a maxila em conjunto com a respectiva infraestrutura metálica são objetos a serem modelados.

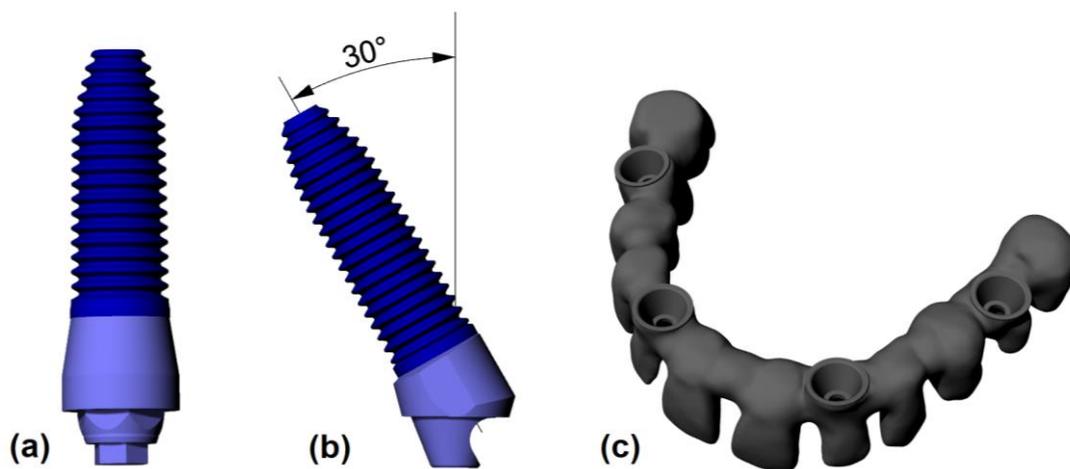


Figura 1. (a) Implante axial (b) Implante angulado (c) Infraestrutura metálica da prótese total.

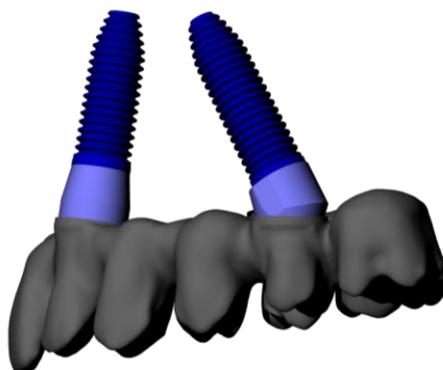


Figura 2. Implantes fixados na infraestrutura metálica.

Para o estudo em questão foi necessário adequar o modelo virtual a um modelo físico de uma maxila parcialmente atrofiada com os implantes fixados. Esse modelo posteriormente será submetido a análises biomecânicas através de desajuste marginal, distorção dos parafusos protéticos e extensometria. Dessa forma, o modelo virtual terá como função gerar dados comparativos fiéis ao modelo físico. Para isso, foi utilizada digitalização ótica 3D [4] com auxílio de um scanner *HandySCAN3D* em conjunto com o software *VXelements*®, resultando na malha STL da Figura 3, a qual foi utilizada como referencial para se fazer o posicionamento dos implantes do modelo digital da infraestrutura.

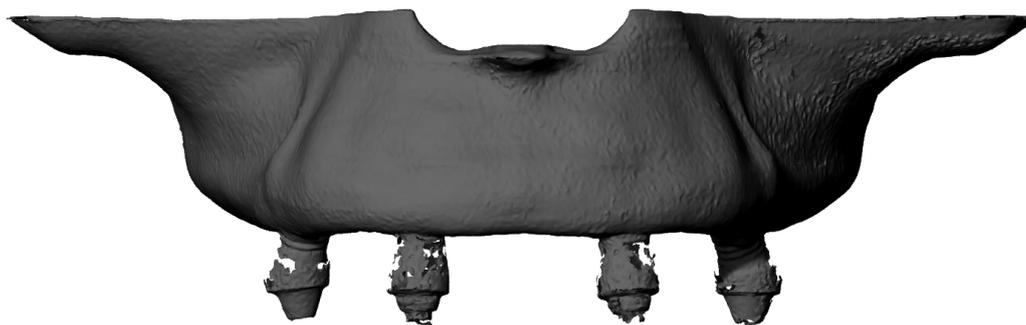


Figura 3. Modelo físico escaneado.

Para a modelagem CAD, foi utilizado o software *Rhinoceros*®, o qual permite se trabalhar com NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*). A utilização desse tipo de representação matemática permite a representação precisa de modelos orgânicos complexos [5].

A maxila utilizada para modelagem foi retirada do banco de peças anatômicas do CTI, o qual conta com as peças confeccionadas conforme o protocolo BioCAD [2]. Este considera os marcos anatômicos das estruturas biológicas para orientação das superfícies criadas em CAD, sendo esses importantes referenciais para definir pontos geométricos de caracterização, que definem o modelo como parte da anatomia analisada, dando foco aos pontos de interesse, facilitando o processo de criação de malha na etapa de análise por elementos finitos. Partindo desta maxila, foi utilizada a malha 3D escaneada como referência de posicionamento. Assim, com as duas geometrias sobrepostas, foi possível observar onde deveriam ser posicionados os implantes. Por fim, o ajuste final deu-se com o posicionamento da estrutura metálica fornecida pelo assistido [1] em uma malha STL, a qual foi posicionada pelas conexões cônicas com os implantes.

Finalizada a modelagem completa do objeto de estudo, o mesmo foi analisado preliminarmente em relação a geração de malha automática para análise de elementos finitos, utilizando-se o software *Altair Hypermesh*®. Foi possível observar, conforme a Figura 4, que a malha preliminar possuía detalhamento excessivo em regiões que não são de interesse para a análise mecânica do conjunto, resultando em um custo computacional desnecessário. Embora a região dos implantes esteja bem detalhada, conforme retrata a Figura 5, é possível confeccionar uma malha mais homogênea, em que o tamanho dos elementos em seu redor não varie abruptamente.

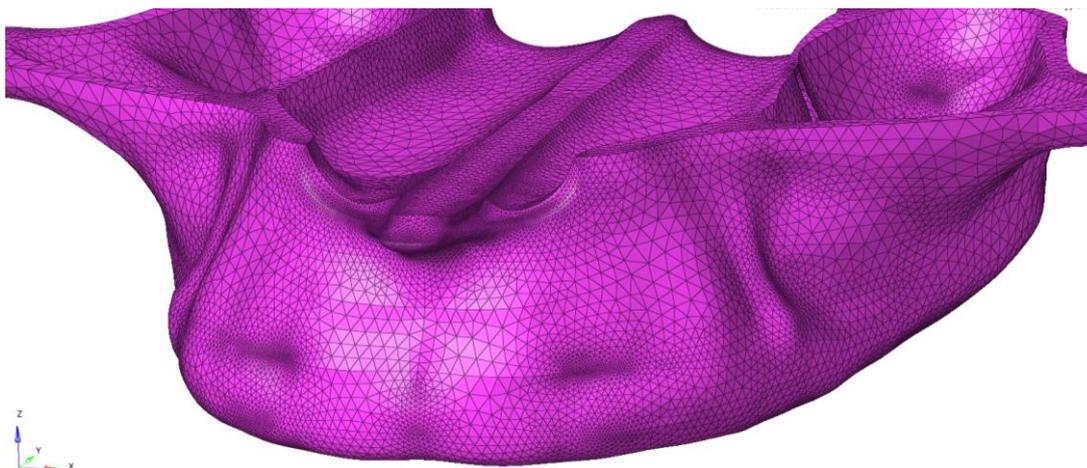


Figura 4. Malha preliminar da geometria não simplificada.

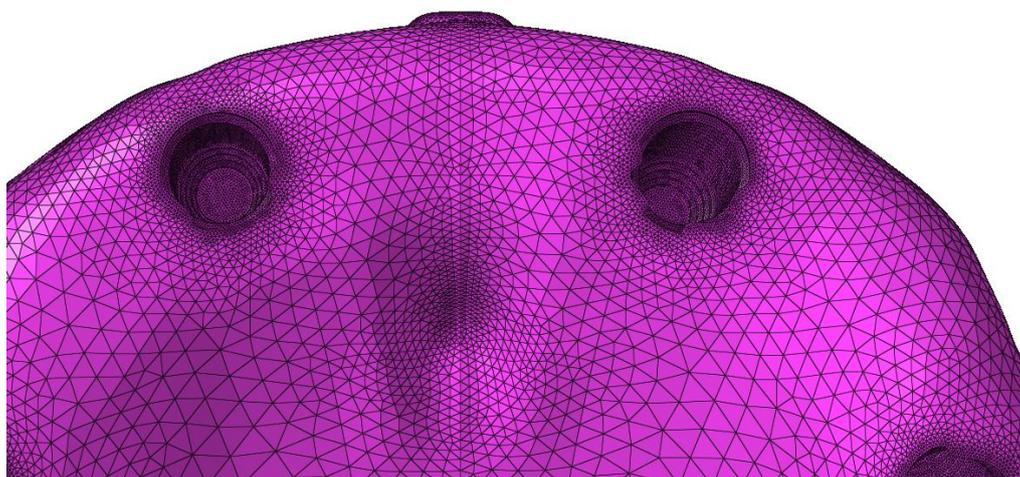


Figura 5. Pontos de interesse da malha preliminar não simplificada

Para contornar esse problema, aplicam-se simplificações no modelo CAD. Essas simplificações foram realizadas de modo a reduzir o detalhamento de regiões que não são de interesse da análise. Observadas essas regiões, as superfícies que as definem podem ser refeitas, mantendo-se as referências dos marcos anatômicos, porém garantindo a continuidade na curva que as conectam [2]. A continuidade entre superfícies garante que a malha gerada em cima delas será mais homogênea e pode ser melhor definida, controlando-se a densidade de elementos facilmente quando necessário.

3. Resultados e discussão

Após a realização dos procedimentos acima citados, foi possível confeccionar um sólido fechado, o qual representa o caso em questão. A geometria resultante pode ser observada na Figura 6.

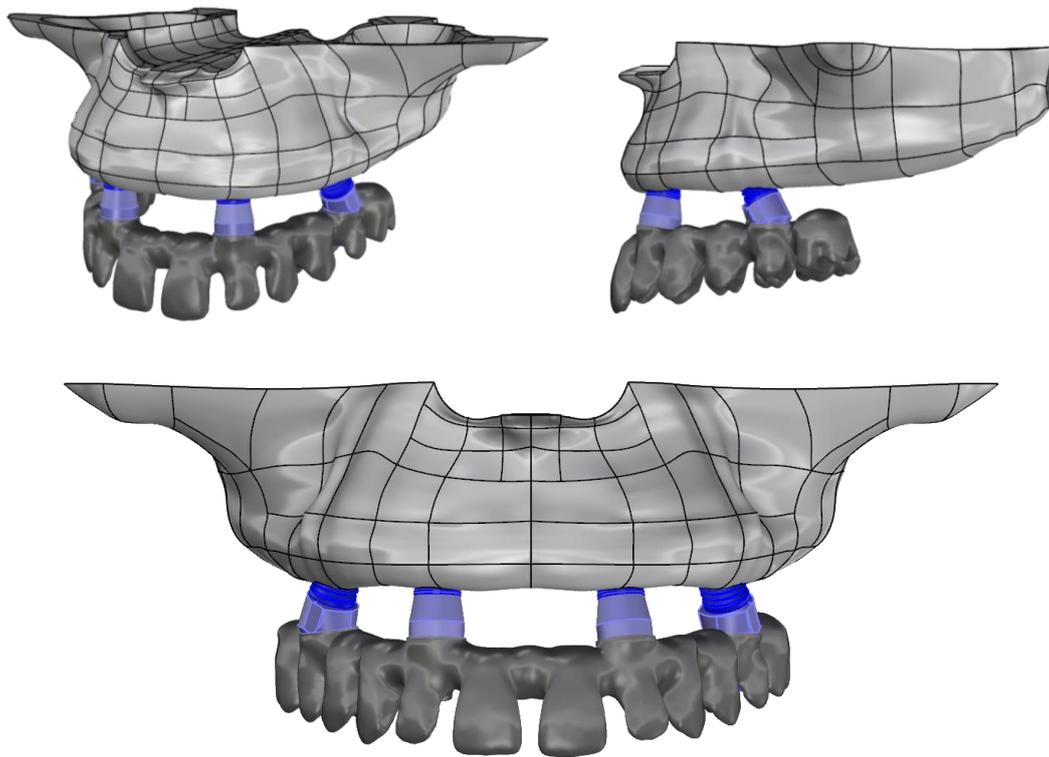


Figura 6. Geometria final do conjunto modelado.

Também, pode-se observar a influência das simplificações, feitas na geometria, na geração da malha, representada na Figura 7.

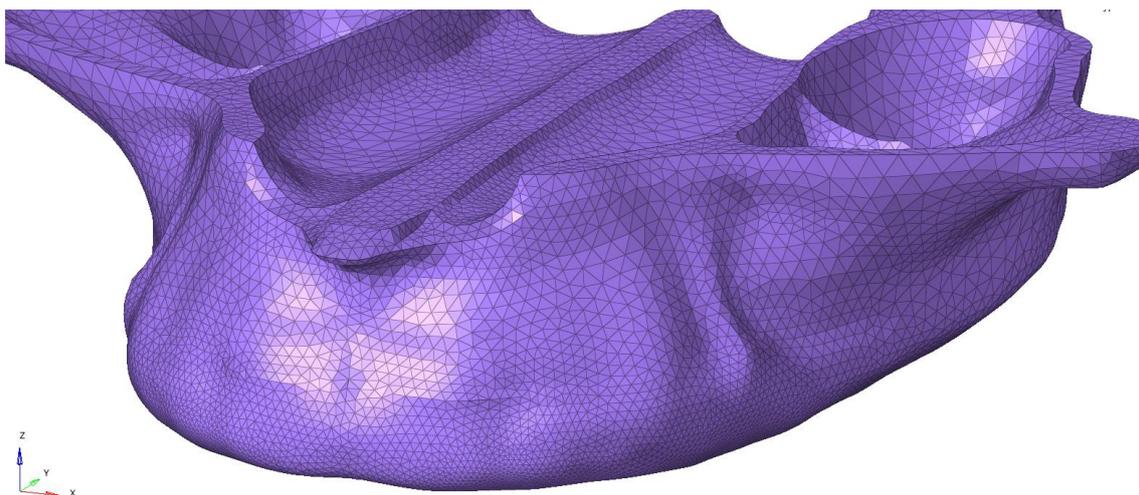


Figura 7. Malha preliminar da geometria simplificada.

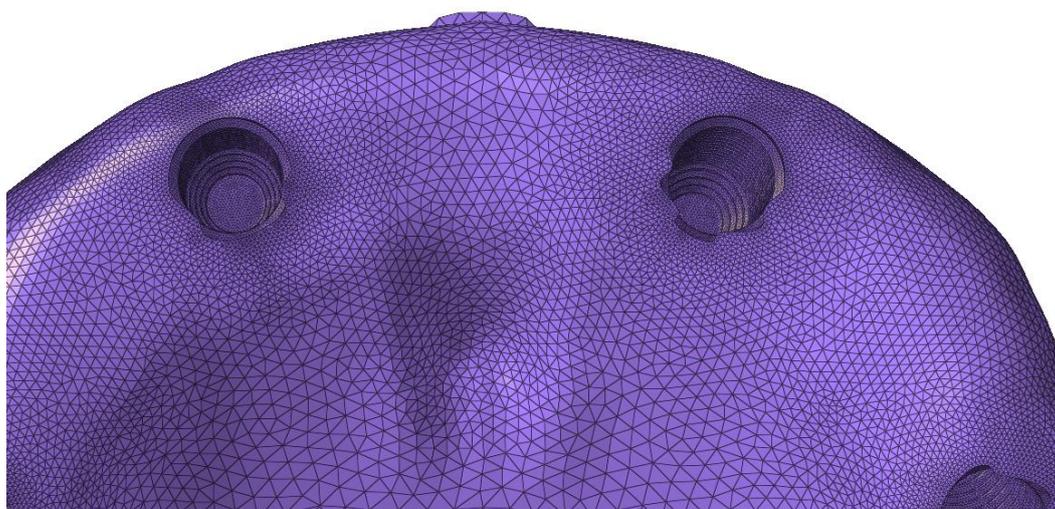


Figura 8. Pontos de interesse da malha preliminar

Observa-se na Figura 7 que a malha resultante possui maior homogeneidade quanto aos tamanhos relativos entre os elementos e sem detalhamento excessivo de locais que não são de interesse. Já as regiões dos implantes da Figura 8, responsáveis por transmitir os esforços aplicados na infraestrutura da prótese total fixa, também apresentam melhora na homogeneidade do tamanho dos elementos. Assim, consegue-se detalhar a região com um menor custo computacional, mantendo-se a fidelidade ao modelo físico.

4. Conclusão

Seguindo o protocolo BioCAD e os procedimentos de escaneamento ótico, foi possível confeccionar um modelo de implante total “all-on-four” que representa o modelo físico que será submetido a ensaios mecânicos.

Observa-se que a geometria CAD está apta para ser utilizada como referência para malha de elementos finitos de uma maneira otimizada, pois as simplificações feitas garantiram que o número de elementos criados fosse reduzido.

Vale ressaltar, para estudos futuros, que a malha deve ser refinada nos pontos de fixação dos implantes, onde ocorre a transmissão dos esforços advindos da utilização da prótese, para poder garantir melhores resultados que serão comparados com os ensaios mecânicos.

5. Agradecimentos

Agradeço ao professor orientador Pedro Y. Noritomi pelos ensinamentos, tanto da pesquisa quanto de experiências de vida, e também pelas oportunidades de trabalho e crescimento pessoal, sempre confiando e investindo em seus orientados. Também sou grato ao restante dos colegas de pesquisa, em especial ao coorientador Leonardo M. R. Machado, pelo apoio constante e dedicação para ensinar.

Além disso, agradeço ao CTI Renato Archer, à comissão PIBIC e ao CNPq pela oportunidade de bolsa de IC e por toda infraestrutura disponibilizada, sem a qual não seria possível a realização desse trabalho.

6. Referências

- [1] BHERING, C.L.B. & MESQUITA, Marcelo & KEMMOKU, Daniel & NORITOMI, Pedro & CONSANI, Rafael & BARAO, Valentim. (2016). *Comparison between all-on-four and all-on-six treatment concepts and framework material on stress distribution in atrophic maxilla: A prototyping guided 3D-FEA study*. Materials Science and Engineering.
- [2] KEMMOKU, D.T. & LAURETI, C.A.R. & NORITOMI, P.Y. & SILVA, J.V.L. *BioCAD techniques: example of maxilla for rapid expansion simulation*. In: Bartolo P. et al. (Org.). Innovative developments in virtual and physical prototyping, vol. 1, Abingdon, UK: Taylor & Francis Group; p. 715–718, (2012).
- [3] NORITOMI, Pedro. *Introdução ao Método dos Elementos Finitos para Aplicações em Bioengenharia*. Campinas, 2005. 30 slides: Documento Eletrônico.
- [4] RODRIGUES, Osmar & ALCARÁ DA SILVA, Leticia. (2014). *A digitalização ótica tridimensional no desenvolvimento de próteses*.
- [5] Rhinoceros®. rhinoceros3D, 2020. *What are NURBS?*. Disponível em: <https://www.rhino3d.com/nurbs>. Acesso em: 20/08/2020.