

## **Análise da Utilização de Softwares Livres para Aplicação na Biomodelagem de Próteses de Calota Craniana.**

**Bianca C. dos Santos\*, Amanda A. Nunes, Izaque A. Maia, Jorge V.L. Silva.**

{\*bianca.santos, amanda.nunes, izaque.maia,  
jorge.silva}@cti.gov.br

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

**Abstract:** *The purpose of this article is to test the replacement of the commercial software Magics® by the free software Blender, in the biomodeling of a prosthesis in the region of the skullcap, aiming to reduce the costs for a Program of Applications of 3D Technologies for Medicine/Health (ProMED), developed at CTI since 2000. As a partial conclusion, since only one case of skull prosthesis has been studied, it is clear that Blender can replace Magics® for the construction of skull prostheses. Additionally, Blender requires simpler computational resources, making it more accessible to people/organizations with limited financial resources.*

**Resumo:** *O objetivo deste artigo é testar a substituição do software comercial Magics® pelo software livre Blender na biomodelagem de uma prótese da região da calota craniana, visando reduzir os custos do Programa de Aplicações de Tecnologias 3D para a Medicina/Saúde (ProMED) que vem sendo desenvolvido no CTI desde o ano 2000. Como conclusão parcial, já que apenas um caso de prótese de crânio foi estudado, tem-se que o Blender pode substituir o Magics® para a construção das próteses cranianas. Adicionalmente, o Blender, embora mais trabalhoso, requer recursos computacionais mais simples, tornando-o mais acessível para pessoas/organizações com limitados recursos financeiros.*

### **1. Introdução.**

As aplicações das tecnologias de manufatura aditiva para o setor da saúde vêm evoluindo fortemente desde quando foram iniciadas, em meados dos anos 80 (RAULINO, 2011). Em decorrência, vêm ocorrendo a crescente utilização de softwares para gerar o modelo digital com o qual é construído o modelo físico. Essas técnicas de modelagem digital e física estão sendo utilizadas no auxílio ao planejamento de cirurgias de reconstrução craniana (cranioplastia), envolvendo desde o tratamento das imagens tomográficas até a construção da prótese final para implante. Como vantagens do emprego dessas tecnologias têm-se a redução do tempo cirúrgico (consequentemente reduzindo também o risco de infecções), a facilidade técnica do procedimento e um bom resultado estético após a cirurgia (FERNANDES, 2004; GREBER, 2019).

A manufatura aditiva aplicada a cirurgias de cranioplastia permite tanto a reconstrução do crânio, evidenciando as proporções exatas da falha óssea, quanto à produção de uma prótese para repará-la. Adicionalmente, com a manufatura aditiva, essas próteses podem ser construídas diretamente, em ligas metálicas, ou ainda, podem ser utilizados os moldes para gerar a prótese craniana em diferentes biomateriais tais como metilmetacrilato e hidróxiapatita. (FERNANDES, 2004).

Essas lesões que demandam cirurgias complexas de reconstrução resultam, principalmente, de acidentes automobilísticos, traumas, sequelas de intervenção neurocirúrgica, malformações congênitas, neoplasias, radioterapia, quedas, agressões interpessoais e infecções (MARICEVICH, 2016). O Centro de Tecnologia da Informação (CTI) Renato Archer atende, dentro do Programa de Aplicações de Tecnologias Tridimensionais na Medicina/Saúde (ProMED), uma grande demanda para confecção dos moldes de próteses de calota craniana confeccionados a partir de manufatura aditiva.

O SUS disponibiliza a forma mais básica das próteses para cranioplastia, ou seja, aquela cuja fabricação é feita com moldagem manual de um biomaterial durante a cirurgia. Esse processo de construção manual da prótese sobre o cérebro apresenta sérios problemas, que podem comprometer a saúde do paciente, tais como elevado tempo de cirurgia e grande dependência da habilidade do médico já que, além da questão funcional, o procedimento envolve questões estéticas (GREBER, 2019).

A metodologia utilizada no CTI envolve desde a modelagem digital da região da lesão, bem como a manufatura aditiva do biomodelo craniano contendo a respectiva falha óssea e da prótese gerada para corrigi-la. O processo de modelagem digital empregado de forma padrão no CTI é realizado utilizando dois softwares - um de reconstrução de imagens e outro de modelagem. São eles, respectivamente, o software livre InVesalius, desenvolvido no CTI e o software comercial Magics®, desenvolvido e comercializado pela empresa belga *Materialise*. Para atender uma demanda maior de solicitações, bem como reduzir ainda mais os custos para o ProMED e para os hospitais, notadamente os públicos, foi estudado e comparado as metodologias já utilizadas no CTI com uma modelagem utilizando apenas softwares livres - InVesalius e Blender.

## **2. Metodologia.**

A metodologia padrão utilizada no CTI para a construção de biomodelos ou próteses se inicia com o recebimento das imagens médicas dos pacientes advindas de tomografia computadorizada (TC) ou ressonância magnética (RM), no formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). A seguir, as imagens passam por um processo de reconstrução tridimensional no software InVesalius e são exportadas em STL (*Stereolithography*), sendo este um formato de arquivo que representa o modelo 3D em uma malha de triângulos. A partir desse modelo tridimensionalizado, são gerados os biomodelos digitais da área lesionada e do molde da prótese.

A modelagem digital do molde é finalizada pelo Magics®, e, em seguida, é realizada a construção do seu correspondente físico por manufatura aditiva em Poliamida (PA), com o qual é moldada a prótese final em Polimetilmetacrilato (PMMA), que é um material biocompatível aprovado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A prótese de PMMA é então testada no biomodelo físico antes de ser introduzida no paciente que possui a lesão. Neste trabalho substituiu-se na metodologia, o software Magics® pelo Blender. As características dos softwares utilizados são mostradas a seguir:

### **a) InVesalius.**

As imagens médicas em três dimensões surgiram apenas em 1972, através da tomografia computadorizada (TC) de raios-X, e tornaram possível a visualização interna do corpo humano, de maneira não invasiva. Essas imagens são geralmente apresentadas no padrão DICOM onde, além dos *voxels*, apresentam informações complementares como o nome do paciente, informações de equipamentos e posição da imagem em relação a alguma referência. Este formato é expresso em diversas imagens bidimensionais, que são “cortes” digitais do corpo/região em estudo. A reconstrução é feita por meio do empilhamento dessas imagens 2D, para formação de um volume (AMORIM, 2011).

Para evitar altos gastos com software pelo poder público, profissionais do CTI iniciaram o desenvolvimento do software InVesalius, em 2001 (AMORIM, 2011), e o disponibilizou na forma de software livre. Sua licença é a GNU (*General Public License*), sendo utilizado o *Python* como linguagem de programação. Após todas as edições, é possível criar um volume total (representando a estrutura, através da união de todas as fatias), e, posteriormente, o usuário pode exportar esse volume no formato STL (ou outro disponível) compatível com outros softwares de edição, ou, adicionalmente para os softwares de controle dos equipamentos de manufatura aditiva. O download do software InVesalius pode ser encontrado no site do CTI (<https://www.cti.gov.br/ptbr/invesalius>).

#### **b) Magics®.**

De acordo com o site oficial da empresa *Materialise*, o software Magics® é composto com ferramentas de reparo para ajustar os modelos digitais para fins de manufatura aditiva. A grande vantagem desse software é que ele pode ser utilizado para diferentes projetos, além daqueles da área da saúde, como é o caso da área industrial, por exemplo, no desenho de peças mecânicas. O Magics® possui uma interface simples e rápida, no entanto o alto custo de suas licenças faz com que ele não seja facilmente acessível para pessoas, empresas e, quanto mais, para hospitais públicos que carecem de recursos básicos para desempenho de suas atividades. É nesse contexto, de diminuição de custos que o CTI vem envidando esforços para utilizar somente softwares públicos sejam aqueles por ele desenvolvido, como é o caso do InVesalius ou softwares livres desenvolvidos por outras instituições como é o caso do Meshmixer e o Blender. Espera-se que o benefício final dessa redução dos custos seja repassado para o SUS.

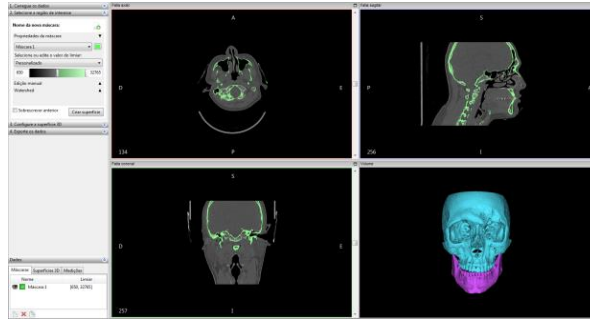
#### **c) Blender.**

O Blender é um software desenvolvido pela “*Blender Foundation*” que se localiza em Amsterdã (Holanda) e tem como objetivo a coordenação e facilitação de projetos abertos relacionados a filmes, jogos ou efeitos visuais em 3D. Foi lançado pela primeira vez em 2 de janeiro de 1994 e as linguagens de programação são C, C++ e *Python*. O software está disponível sob a GNU (*General Public License*) e possui partes comerciais sob a “*Python Software Foundation License*”. Apresenta recursos para a criação de animações, renderizações, sombreamento, composição e criação de jogos em tempo real, modelagem, texturização e edição de vídeo. O Blender é muito utilizado em arquitetura, design industrial, engenharia e artes. Entretanto, não se encontram muitos relatos na literatura sobre sua utilização para o setor da saúde, em especial, na modelagem de estruturas biológicas. Dessa forma, dado fato de que ele é gratuito e amplamente utilizado, foi escolhido para ser estudado no setor da saúde como uma alternativa econômica para o Magics® na modelagem de biomodelos.

### 3. Modelagem.

#### a) InVesalius.

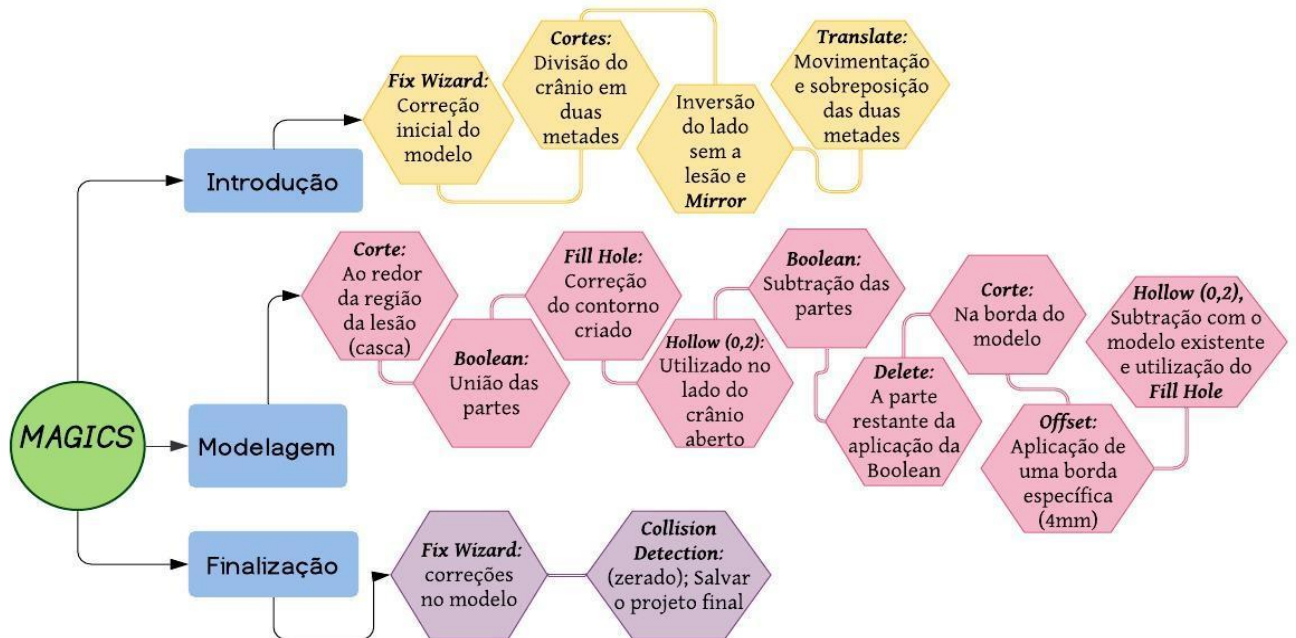
As imagens dos pacientes em formato DICOM são exportadas para o software InVesalius para serem reconstruídas e visualizadas na forma de volume tridimensional e, finalmente, salvas no formato STL. O InVesalius é utilizado principalmente para retirada manual de ruídos das imagens, para separação de estruturas e para a criação de um volume final.



**Figura 1:** Tela do software InVesalius após reconstrução do modelo (imagem do autor).

#### a) Magics®.

Após a criação da imagem volumétrica no InVesalius, segue-se o processo da criação do modelo digital da prótese com o software Magics®. As ferramentas utilizadas nesse processo são mostradas, passo a passo, no fluxograma da Figura 2 e que constitui o protocolo criado pelo ProMED.



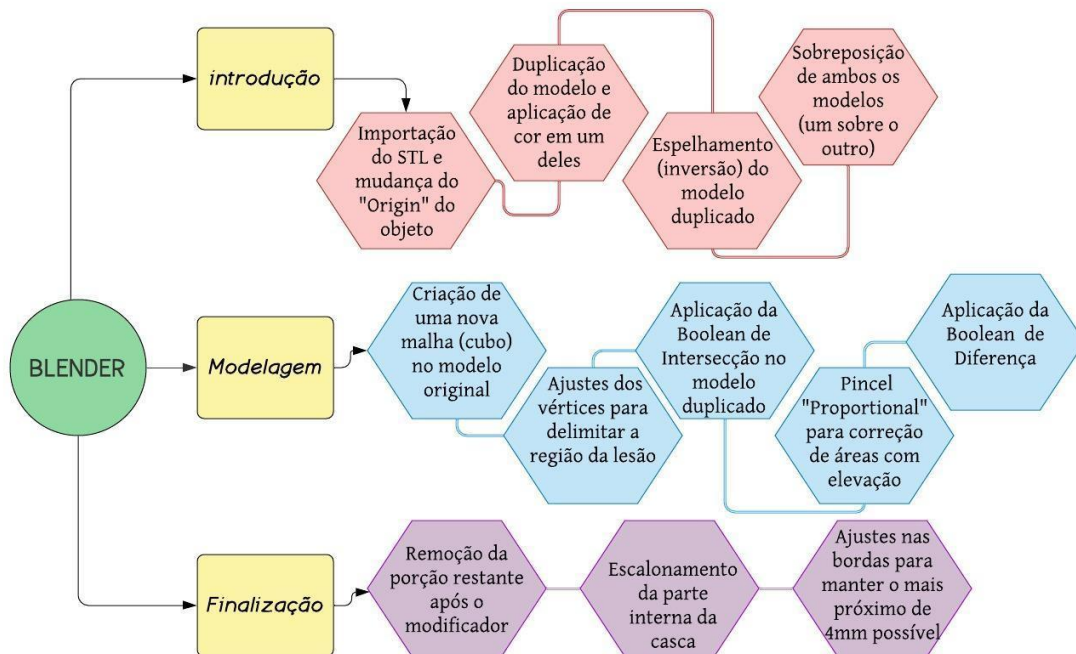
**Figura 2:** Fluxograma do processo de modelagem pelo software Magics® (esquema desenvolvido pelo autor).

As ferramentas de edição e a sequência de etapas são divididas em três grupos: Introdução, Modelagem e Finalização. O primeiro consiste nas edições mais simples, tais como os cortes e movimentações. O segundo visa gerar o contorno exato da lesão e,

posteriormente, criar o molde adequado. Finalmente, o terceiro visa à correção do modelo após todas as edições serem realizadas e a utilização de uma ferramenta denominada de “*Offset*” que permite a definição exata de quatro milímetros em toda a borda dessa casca que foi modelada. Esse valor foi estudado e definido como padrão por pesquisadores do CTI. A casca representa o contorno criado para a área lesionada, sendo, portanto, o modelo digital da prótese. A metodologia para criação desse modelo é confeccionada através da sobreposição das duas metades resultante do corte realizado no crânio inicialmente.

### b) Blender.

A metodologia utilizada no Blender foi baseada no conhecimento adquirido nas modelagens realizadas utilizando o Magics®. Apesar de se tratar de softwares distintos, quanto mais similares forem os passos, dentro do protocolo adotado no ProMED, mais rápido e prático se torna o processo de aprendizado pelos profissionais, inclusive aqueles que vem trabalhando há anos com o protocolo.



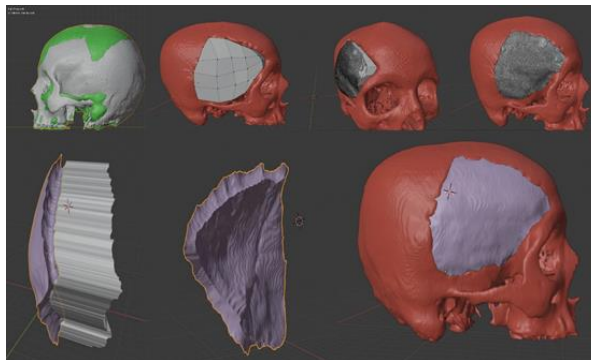
**Figura 3:** Fluxograma do processo de modelagem do software Blender (desenvolvido pelo autor).

Como no caso do fluxograma do processo de modelagem do Magics®, as ferramentas de edição do Blender estão divididas em três partes: Introdução, Modelagem e Finalização. A introdução aborda principalmente o posicionamento adequado do modelo na plataforma do Blender, garantindo a eficiência das próximas etapas, assim como ocorre no Magics®. O próximo passo é a duplicação do modelo, nota-se que no Blender essa etapa é efetuada no modelo completo, enquanto que no Magics® ela é realizada após um corte no modelo em duas metades simétricas, e a duplicação ocorre em um único lado, através da ferramenta “*Mirror*”, como demonstrado na Figura 2. No Blender não foi possível proceder com este corte em duas metades, pois gerou um maior tempo de modelagem, bem como culminou em travamentos do software, pela

complexidade do modelo. Dessa forma, a escolha foi realizar a duplicação no modelo completo.

A modelagem pelo Blender é realizada a partir da criação de um novo volume na tela, através do atalho “*Shift + A*”, que determina diversos objetos pré-modelados pelo software para serem utilizados. No caso deste trabalho, o objeto utilizado foi um cubo, pois a edição do mesmo é mais simples e eficaz na modelagem de lesões cranianas, fato este determinado após a análise dos demais objetos disponíveis do software. Após a criação desse volume cúbico, são utilizadas ferramentas básicas de movimentação, rotação, escalonamento. Adicionalmente o Blender permite também a criação de novos vértices neste cubo, o que auxilia no processo de posicionamento do objeto com o intuito de cobrir a região vazia (lesão). Após a aplicação dos modificadores de “*Booleana*”, algumas regiões podem ficar ressaltadas/elevadas, demandando, assim, a utilização do pincel “*proportional*”, que permite rebaixar essas regiões, deixando-as adequadas para aplicação das ferramentas do grupo de Finalização.

As ferramentas de Finalização servem para correção no modelo final, para permitir a definição de uma borda o mais próxima possível de quatro milímetros, através do escalonamento da região interna da casca que foi criada. Devido ao fato dos softwares Magics® e Blender terem ferramentas diferenciadas de aplicação de borda automática os valores obtidos por esses softwares podem variar ao longo do contorno. No Magics® existe uma ferramenta apropriada para realização desta etapa, que garante a aplicação do valor em todo o contorno.



**Figura 4:** Processo de criação da casca para prótese de calota craniana pelo software Blender (imagem do autor).

#### **4. Resultados e Discussões.**

##### **a) Validação.**

O modelo digital da prótese craniana obtido utilizando o software Blender foi validado com o Magics®, tendo em vista que todos os parâmetros estavam adequados, não sendo identificada nenhuma falha na malha, bem como problemas no modelo. Este é um resultado muito promissor levando-se em conta que o Magics® vêm sendo usado dentro do protocolo do ProMED para a realização de centenas de modelagens digitais de próteses cranianas.

Apesar da eficácia na verificação dos parâmetros de comparação, as análises realizadas até essa etapa do estudo se basearam em comparações dentro do domínio digital. É necessária que seja feita, oportunamente, a comprovação física, ou seja, acoplando-se a

prótese de PMMA gerada no molde físico de poliamida no biomodelo onde se encontra a falha óssea.

#### **b) Tempo de modelagem.**

O tempo de modelagem digital varia de acordo com o tamanho e tipo de lesão craniana. Outro ponto a se considerar é a experiência do profissional ou tempo de trabalho dedicado à utilização de cada um desses softwares.

O modelo apresentado nas imagens foi trabalhado em ambos os softwares, sendo que o Blender demandou maior tempo pelo fato de se tratar de uma rota completamente nova no CTI, o que gerou a necessidade de aprendizagem das ferramentas. Na experiência da autora, a primeira modelagem finalizada pelo Magics® demandou cerca de três semanas a um mês enquanto que o primeiro modelo realizado pelo Blender demorou cerca de dois a três meses para ser finalizado. O Blender conta com muitos recursos dispostos em atalhos que precisam ainda ser aprendidos para minimizar o tempo de modelagem.

#### **c) Dificuldades.**

Como a única metodologia conhecida para criação do modelo digital era a realizada no Magics®, a primeira tentativa de modelagem com o Blender se revelou um tanto demorada tendo em vista os seguintes fatores; (1) complexidade do modelo biológico, (2) pequena capacidade de processamento computacional, (3) pequeno número de publicações relevantes de modelagem de estruturas biológicas com o Blender, conforme revelado por busca de artigos e publicações em português e inglês realizada no Google Acadêmico, *Scielo* e PubMed, (4) não existe uma metodologia que possa ser utilizada como referência tendo em vista de que nenhuma lesão é igual a outra.

A partir da escolha do Blender como software livre de modelagem, o passo seguinte foi à simplificação de malhas, visto que o STL advindo do software InVesalius é extremamente complexo e pesado. A tentativa inicial foi realizar esta simplificação utilizando o software livre MeshLab, com intuito de diminuir o número de triângulos do STL. Essa tentativa se mostrou inviável, pois partes importantes do biomodelo se apresentaram deformadas. Isso fez com que outros métodos fossem analisados, como uma alternativa distinta de modelagem daquela utilizada pelo Magics®, por conta da complexidade da malha culminar no travamento do Blender. O MeshLab não foi utilizado na metodologia final de modelagem.

Tendo em vista a dificuldade na simplificação da malha, foi necessária a análise de outro método de modelagem que garantisse duas condições - a manutenção da malha original e a edição desse modelo complexo sem ocasionar travamento no software. Após estudos, o procedimento mais adequado foi à geração de um novo objeto cúbico sobre a lesão, podendo-se assim editar esse modelo de forma mais simples sobre o modelo original.

Enfim, a modelagem mais manual exigida pelo Blender gera dificuldades para se obter um bom modelo situação que não ocorre quando o Magics®, com ferramentas mais automatizadas, é utilizado. Uma vantagem, porém do Blender, é não requerer uma capacidade computacional muito grande, que leva aos travamentos de algumas ferramentas.

Software	Vantagens	Desvantagens	Modelagem
----------	-----------	--------------	-----------

<b>Magics®</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite edição mais rápida;</li> <li>- É de conhecimento dos profissionais do CTI;</li> <li>- As ferramentas são mais simples de serem encontradas e utilizadas;</li> <li>- O tempo de modelagem é menor.</li> </ul>	Trata-se de um software comercial.	A modelagem é realizada baseada na duplicação do modelo original, sobreposição de ambos e edições para criação de um contorno no local da lesão.
<b>Blender</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresenta inúmeras possibilidades e metodologias que podem ser estudadas para criação das próteses;</li> <li>- Apresenta ampla aplicação e é livre;</li> <li>- Rápido e leve, não levando a travamentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O conhecimento dos atalhos e ferramentas demanda tempo;</li> <li>- Não possui ferramenta específica de contorno;</li> <li>- Não gera a casca automaticamente;</li> <li>- Não gera o modelo do molde automaticamente;</li> <li>- Necessidade de uso de um objeto cúbico para modelagem da casca</li> </ul>	A modelagem é realizada baseada na criação de uma nova malha de elementos cúbicos, e sua edição para criação de um contorno no local da lesão, e posteriores edições nessa casca formada.

**Tabela 1:** Comparativo entre os softwares Blender e Magics®.

## 5. Conclusão.

Após a análise do modelo de prótese digital de crânio gerado foi possível notar a ampla complexidade dos softwares livres de modelagem, não apenas no âmbito para o qual eles são mais conhecidos, como também para utilização dentro do setor da saúde. Os resultados referentes à geração de uma prótese craniana digital com o Blender, em substituição ao Magics® se mostraram promissores tendo em vista o não apontamento de falhas na malha ou no modelo quando rodado no próprio Magics®, que é o software comercial utilizado no protocolo do ProMED. Não houve comprometimento da qualidade final do modelo digital da prótese ao substituir, por necessidade de desempenho computacional, a metodologia de modelagem diretamente na malha de triângulos pela criação de um volume (objeto) cúbico. Restam muitos estudos a serem feitos acerca da substituição do Magics® pelo Blender no protocolo ProMED. Nesses estudos preliminares as expectativas de redução de custos foram atendidas. No entanto, há se considerar a necessidade de realizar uma análise econômica mais ampla, que leve em conta o preço da licença anual do Magics®, o custo de homem/hora para a construção dos modelos biológicos utilizando o Blender e a quantidade média de próteses no prazo de um ano.

## 6. Discussão sobre as próximas atividades.

Após todos os passos de modelagem da casca, relatados na seção anterior e ilustrado na Figura 4, a etapa seguinte é a criação do molde digital da prótese. Essa etapa é realizada



automaticamente no software Magics®, e ainda não foi validado as metodologias para sua confecção através do Blender que por não ser automática, necessita de mais tempo do que foi dispendido até o momento para ser desenvolvida. Após a finalização dessa etapa, o molde físico pode ser construído por manufatura aditiva. No caso do CTI, essa construção é realizada em poliamida (PA) que é um polímero termoplástico, formado por monômeros de amida e unido através de ligações peptídicas. Apesar de ser um material muito utilizado na área médica, como para realização de suturas cirúrgicas, a ANVISA não aprova sua utilização como material constituinte das próteses cranianas. O molde é impresso juntamente com a casca criada, com objetivo de permitir comparações entre o modelo manual e o produzido por manufatura aditiva. Além disso, a casca pode ser utilizada durante a cirurgia para verificação do modelo ou para avaliar o encaixe da prótese na lesão. Assim, durante a preparação do paciente para realização da cranioplastia, o cirurgião utiliza o molde impresso em PA, para confeccionar a prótese em material biocompatível, geralmente o polimetilmetacrilato (PMMA).

## 7. Referências Bibliográficas.

- ALECU, Felician. Blender Institute—the Institute for Open 3D Projects. **Open Source Science Journal**, v. 2, n. 1, p. 36-45, 2010.
- AMORIM, Paulo HJ et al. In Vesalius: Software livre de imagens médicas. **Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer-CTI, campinas/SP–2011-CSBC2011**, 2011.
- DU, Qiang; WANG, Desheng. Recent progress in robust and quality Delaunay mesh generation. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, v. 195, n. 1-2, p. 8-23, 2006.
- DUARTE, Teresa et al. Impressão 3D na Área Médica: desafios e oportunidades. INEGI-Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015.
- GREBER FILHO, Elizeu et al. **Desenvolvimento e fabricação de moldes flexíveis (TPU) de baixo custo por manufatura aditiva para produção de próteses cranianas de PMMA**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- KENT, Brian R. **3D scientific visualization with blender**. San Rafael, CA: Morgan & Claypool Publishers, 2015.
- MARICEVICH, Pablo et al. Cranioplastias: estratégias cirúrgicas de reconstrução. *Rev. bras. cir. plást*, v. 31, n. 1, p. 32-42, 2016.
- PIRES, Ana Luiza R.; BIERHALZ, Andréa CK; MORAES, Ângela M. Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. **Química nova**, v. 38, n. 7, p. 957-971, 2015.
- RAULINO, Bruno Ribeiro. Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). 2011.
- TURRER, Clarissa Leite; FERREIRA, Felipe Pacheco Martins. Biomateriais em cirurgia craniomaxilofacial: princípios básicos e aplicações: revisão de literatura. **Revta Bras. Cir. Plást**, v. 23, n. 3, p. 234-239, 2008.
- YACUBIAN-FERNANDES, Adriano et al. Prototipagem como forma alternativa para realização de cranioplastia com metilmetacrilato: nota técnica. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 62, n. 3B, p. 865-868, 2004.