

MANUFATURA EM CNC DE UM BIOMODELO E MOLDE PARA ESTAMPAGEM DE UMA PRÓTESE CRANIANA PERSONALIZADA

Lucas Cardoso Dias – lucas.cd@live.com

Ricardo Teixeira Alves Filho – ricardopiox@gmail.com

Laurivan da Silva Diniz – lasiniz@hotmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Av. Primeiro de Maio, 720 - Jaguaribe
CEP - 58015-435 – João Pessoa – Paraíba

Resumo: *O projeto de biomodelos e implantes sob medida apresenta grande destaque na área de saúde, como cranioplastia, odontologia e ortopedia. Um biomodelo é um modelo físico de parte sólida da anatomia do paciente, fabricado geralmente por prototipagem rápida, usinagem direta ou por estampagem incremental. Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos no projeto pioneiro de manufatura mecânica aplicada a Engenharia Biomédica ocorrido no IFPB – Campus João Pessoa. A utilização dos recursos computacionais ensinados nas disciplinas de manufatura dos cursos de tecnologia e engenharia do IFPB, permitem, por meio das análises visuais e montagem digital de peças, o planejamento antecipado da fabricação de implantes. Neste trabalho foram empregadas as tecnologias CAD/CAM/CNC associadas ao software livre InVesalius 3.0 – Beta 5, com o objetivo de produzir, por usinagem direta, um biomodelo e um molde para estampagem incremental por Suporte Assimétrico Positivo de uma prótese craniana.*

Palavras-chave: CAD/CAM, centro de usinagem, engenharia biomédica.

1 INTRODUÇÃO

Constantemente, pessoas no mundo inteiro necessitam submeter-se a cirurgias de amputação e de reconstrução de membros ou regiões de seu corpo com uso de próteses, alterando a percepção que cada indivíduo tem de si. Uma fração destas cirurgias de restauração envolvem a cranioplastia, técnica médica para reparar deformidades no crânio.

Segundo Bazan (2004), cerca de 2 milhões de pessoas são internadas por ano em hospitais da rede pública vítimas de traumatismo craniano-cerebral. Muitos são recorrentes de acidentes de trânsito, onde no Brasil, de acordo com Barbosa et al (2010), a cada 10 vítimas uma tem lesões irreparáveis na região do crânio, necessitando reconstruir a área afetada com próteses para restaurar a proteção crânio-cerebral e para aliviar manifestações clínicas recorrentes da falha óssea.

Além disso, Botega (2015) afirma que boa parte dos pacientes submetidos a cirurgias desta complexidade voltam ao centro cirúrgico devido a complicações com os implantes, fato ocorrido, pois a peça implantada pode não estar de acordo com perfil anatômico do paciente, gerando complicações na saúde do indivíduo e agravando o problema, elevando o custo do tratamento (FERRAZ, 2009).

Nos últimos 60 anos a evolução das ferramentas computacionais e dos processos de manufatura abriram novos caminhos para a tecnologia da fabricação. Estes progressos proporcionaram um grande avanço no desenvolvimento de diversas áreas, entre elas pode-se

destacar a engenharia biomédica. De acordo com Castelan et al (2013), desde a década de 1990 as ferramentas CAD (*Computer Aided Design*) são incorporadas na área médica no tratamento de imagens obtidas através de tomografia computadorizada e/ou ressonância magnética, o que possibilitou a construção e edição de sólidos 3D gerados de imagens DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*).

Deste modo, uma vez convertida é possível obter um sólido virtual da anatomia do paciente e, a partir dele projetar um biomodelo que atenda as especificações do indivíduo; além disso trabalhar com softwares CAD permite transmitir informações entre o computador e um sistema de fabricação automatizado, como uma máquina CNC (*Computer Numeric Control*), onde a prótese será confeccionada tendo suas estratégias de produção definidas por ferramentas computacionais CAM (*Computer Aided Manufacturing*).

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do projeto e da manufatura de um molde de uma prótese craniana que será utilizado no processo de estampagem incremental (processo de produção por meio de conformação mecânica). Para desenvolver o perfil do molde foi necessário projetar o corpo sólido da prótese para fratura do crânio obtido. O molde será confeccionado através da usinagem direta (processo de fabricação por remoção de material) no Centro de Usinagem CNC de três eixos do IFPB – Campus João Pessoa, fazendo uso das tecnologias CAD/CAM/CNC.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foram utilizados os programas NX 9.0 com licença acadêmica liberada pela Siemens para o IFPB – Campus João Pessoa durante um ano e InVesalius 3.0 – Beta 5 instalados num computador com processador Intel i7-3720QM, 4GB de memória RAM, placa de vídeo AMD Radeon Serie HD 7500M, um centro de usinagem CNC de 3 eixos ROMI D600, fresas de topo e esférica, pertencente ao IFPB Campus João Pessoa-PB, para a usinagem dos modelos e como material bruto utilizou-se a madeira.

O trabalho possui quatro procedimentos principais no que diz respeito a metodologia. Inicialmente foi feita, através do software InVesalius 3.0 – Beta 5, a conversão da imagem DICOM numa superfície 3D, sendo esta exportada no formato STL. O segundo momento tratou-se da importação do arquivo STL no ambiente de trabalho CAD do NX 9.0, onde ocorreu o desenvolvimento do projeto do biomodelo craniano e do molde para a estampagem da prótese. No terceiro foi realizado o estudo das estratégias de usinagem que descrevem os caminhos que serão traçados pelas ferramentas de corte durante a confecção do biomodelo craniano e do molde para a estampagem. Por último concretizou-se o trabalho com a confecção de ambas as peças.

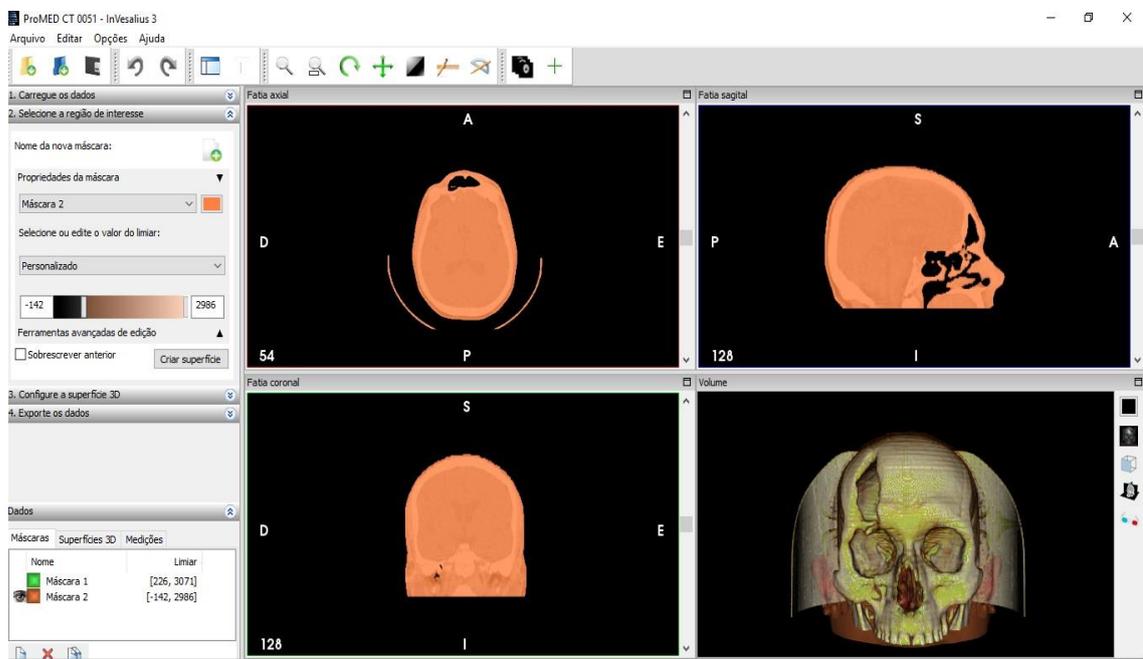
Este trabalho buscou esquematizar técnicas para reconstrução tridimensional de tecidos aplicando ferramentas CAD/CAM, utilizou-se para a criação e edição da estratégia de usinagem do biomodelo e do molde apenas um software específico para fabricação mecânica. O NX 9.0, licenciado pela Siemens, foi o software utilizado durante as etapas do projeto. Trata-se de um programa computacional que envolve tanto tecnologias CAD como ferramentas de projeto CAM. Desta forma trabalhando exclusivamente com este software reduzimos os gastos tanto com horas de trabalho quanto com custos computacionais, diferente das obras de Bazan (2004), Castelan et al (2013), Botega (2015), que utilizaram auxílio de alguns programas gráficos que não são empregados puramente em manufatura integrada.

Nas técnicas atuais de crânioplastia, a principal fonte de informações é a tomografia/ressonância magnética realizada no próprio paciente. Bazan (2004) afirma que a aquisição destas imagens médicas é originalmente a partir de fatias (*slices*) bidimensionais para posteriormente serem submetidas à reconstrução 3D. Esta fase do processo é feita totalmente

em softwares que consiga compactar todas as *slices* e transformar em um único sólido tridimensional, no caso empregou-se o programa InVesalius 3.0 – Beta 5, que consiste em um software médico público que está disponível para download gratuito no portal eletrônico do Centro de Tecnologia e Informação Ricardo Archer (<http://www.cti.gov.br>). Para efeito deste trabalho foi utilizada uma imagem exemplo existente no próprio programa.

Uma vez obtido o sólido a partir das *slices*, como pode ser visto na Figura 1, este arquivo é salvo com extensão do tipo STL, que posteriormente será importado no ambiente CAD do NX 9.0, onde são feitos planos de referência de trabalho, a remoção das partes em excesso, a isolamento e a modelagem do preenchimento da parte de interesse para o projeto da prótese craniana. O arquivo no formato STL é difícil de ser trabalhado, editado e modelado, contudo é um arquivo que utiliza pouca memória de processamento computacional, o que proporciona uma maior agilidade durante sua manipulação.

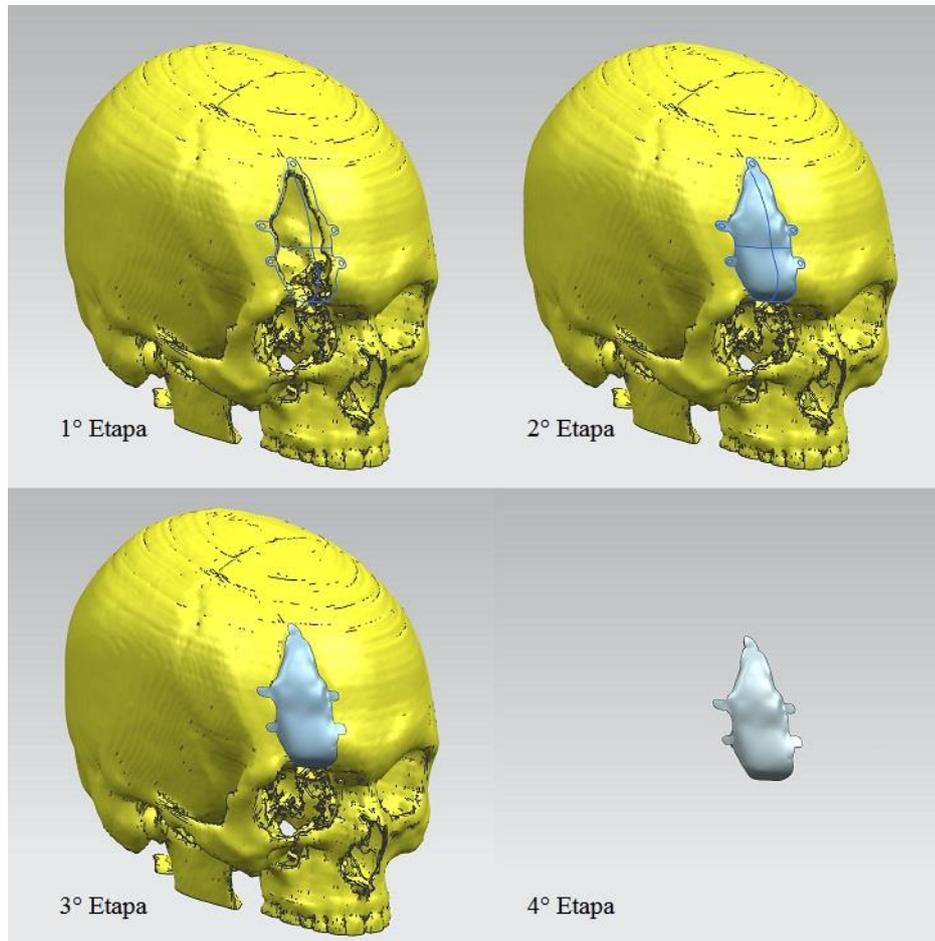
Figura 1 – Sólido obtido com o InVesalius 3.0 – Beta 5.



Fonte: Acervo Pessoal.

Para iniciar o projeto da prótese é desenhada sobre o perfil da região fraturada do crânio uma linha guia para o contorno e várias *splines*, no qual estas *splines* são curvas definidas por três ou mais pontos de referência, possibilitando que a curva seja manipulada, conforme o projetista realiza toda a ajustagem na superfície da região de interesse. Após gerar as linhas de contorno e as *splines*, efetuou-se um preenchimento de superfície, do qual o mesmo tem que atender o contorno definido, para que desta forma tenha as mesmas dimensões da região fraturada, e ao mesmo tempo atenda as curvas geradas pelas *splines* para concordar corretamente tanto em perfil quanto em anatomia do crânio do paciente, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Etapas principais do modelamento da
prótese craniana, conforme descritas
sequencialmente no texto.

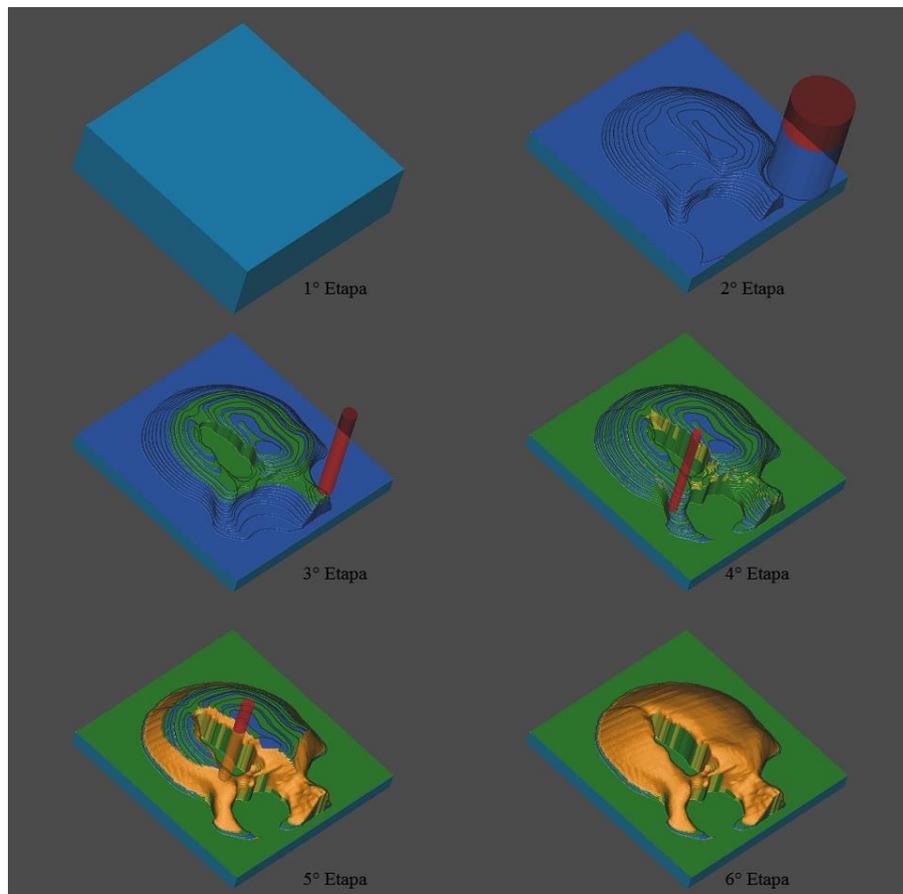


Fonte: Acervo Pessoal.

Virtualmente a utilização do biomodelo craniano serve como corpo de referência para criar um modelo sólido da prótese. Fisicamente servirá para verificação da qualidade dimensional e anatômica da prótese que será obtida pelo processo de estampagem incremental em trabalhos futuros. Desta forma buscou-se desenhar uma prótese que resgatasse as especificações biológicas da região fraturada, o que por sua vez irá proporcionar, após a cirurgia, uma redução do índice de rejeição do corpo devido ao atendimento das características anatômicas do paciente.

Uma vez definida as regiões de interesse para a usinagem, passou-se para a terceira fase que consistiu em definir a estratégia de manufatura para obtenção do biomodelo e do molde no NX 9.0 CAM. Nesta plataforma definem-se as ferramentas de trabalho, os parâmetros de corte como rotação, avanço e penetração e a sequência de trabalho. Ainda nesta etapa, é feita a simulação da usinagem como pode ser observado na Figura 3. Caso constate-se que todos os procedimentos foram corretos gera-se no pós-processador do NX 9.0 o G Code, linguagem adotada pelos fabricantes de CNC, que define os caminhos das ferramentas necessários para obtenção do modelo conforme superfície editada.

Figura 3 – Etapas da simulação da usinagem do biomodelo no simulador do NX 9.0 CAM.



Fonte: Acervo Pessoal.

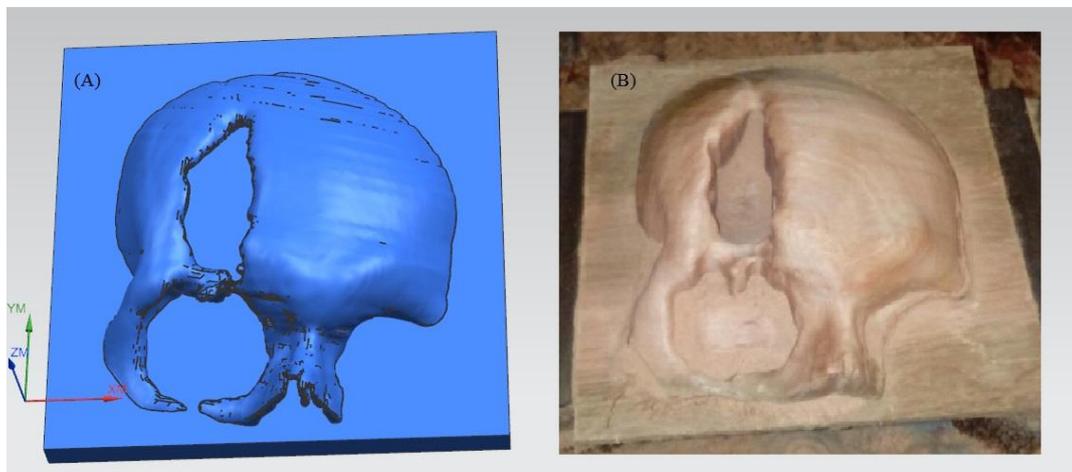
A finalização das simulações marca o encerramento da etapa virtual e abre o caminho para iniciar as operações de usinagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho, devido as dificuldades financeiras, tendo em vista que os pesquisadores estão envolvidos em caráter voluntário, foi usinado em material bruto de madeira, tanto o biomodelo como o molde. A usinagem foi feita a partir de imagens do tipo DICOM que foram manipuladas nos softwares InVesalius 3.0 – Beta 5 e NX 9.0. Como consequência obtivemos imagens de formato irregular que só podem ser usinadas, levando-se em consideração a anatomia de cada indivíduo, com uma máquina via Comando Numérico Computadorizado.

O primeiro resultado obtido foi a usinagem do biomodelo, conforme ilustrado na Figura 4. As análises preliminares, que se pode fazer na fase atual do projeto é de caráter qualitativo, onde foi avaliado a conformidade da peça com o modelo virtual.

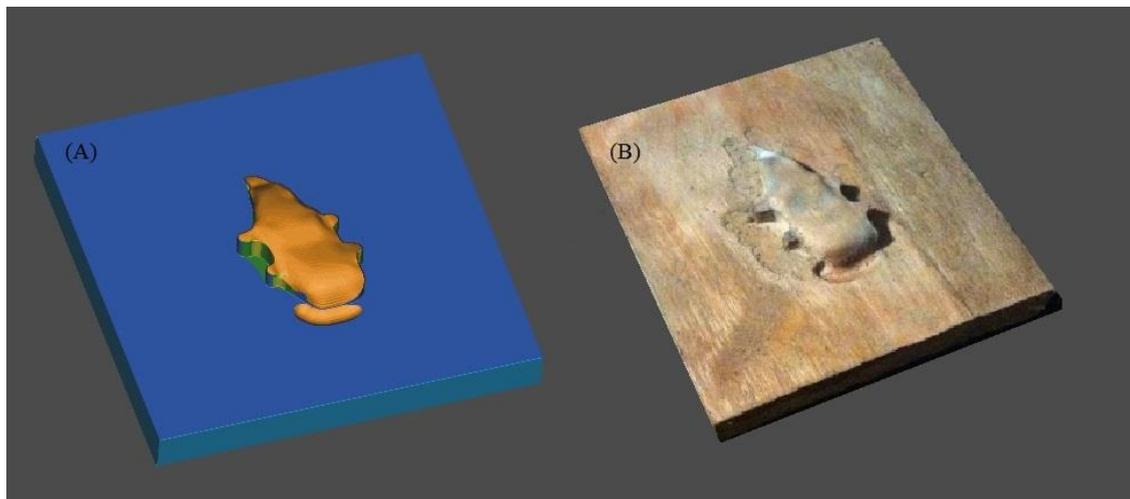
Figura 4 – (A) Biomodelo virtual; (B) Biomodelo obtido pela usinagem.



Fonte: Acervo Pessoal.

Posteriormente, foi usinado o molde para estampagem incremental do tipo com Suporte Assimétrico Positivo, no entanto, em trabalho futuro pretende-se confeccionar um molde para estampagem incremental do tipo com Suporte Assimétrico Negativo para comparação dos resultados dos implantes obtido.

Figura 5 – (A) Molde para estampagem incremental com Suporte Assimétrico Positivo no NX 9.0; (B) Molde para estampagem incremental com Suporte Assimétrico Positivo usinado.



Fonte: Acervo Pessoal.

A estampagem incremental apresenta características que permitem sua adaptação a algumas das novas exigências do mercado, tais como a agilidade na fabricação de protótipos, a produção de pequenas séries de componentes e a obtenção de peças que, por possuírem elevada complexidade geométrica, se tornariam inviáveis por processos convencionais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das tecnologias CAD/CAM/CNC vem sendo utilizadas por pesquisadores com aplicação na área médica, contudo imagens de origem médica continuam sendo difíceis de editar e modelar devido à alta complexidade de suas características geométricas. O procedimento proposto neste trabalho faz uso de apenas um software para edição e manufatura, proporcionando redução do tempo de projeto do modelo computacional com relação aos principais trabalhos encontrados na literatura.

Além disso, como o processo se dá pela estampagem incremental pode-se trabalhar com ligas de titânio, amplamente recomendadas para este tipo de aplicação. Tendo como matéria prima a chapa de titânio, reduz-se o custo de produção da em cerca de 30% sobre valor provável do gasto para produzir o implante por usinagem direta com o mesmo material. A produção de peças por estampagem custa menos devido o processo utilizar ferramentas de baixo custo, menor desperdício de material e pode ser realizada em máquinas que não foram projetadas para finalidade médica, como centros de usinagem CNC.

Apresentar métodos mais baratos durante a produção de uma prótese sob medida promove uma redução de custos no tratamento total do paciente, proporciona a redução do tempo de cirurgia, da morbidade, da dor pós-operatória, do risco de infecções e rejeições, além de apresentar melhores resultados do ponto de vista estético, contribuindo para melhoria da qualidade de vida dos pacientes que necessitam do uso de próteses cranianas.

A principal contribuição deste trabalho é referente ao ensino e pioneirismo no estudo de fabricação de próteses a partir da usinagem de materiais no IFPB, e assim fortalecendo o ensino da Engenharia Biomédica no campus. Os resultados obtidos com o projeto se enquadram dentro do esperado, e apresenta características promissoras no que se diz respeito ao avanço da pesquisa, uma vez que os primeiros desafios estão relacionados a alinhar a manipulação das imagens médicas com softwares ensinados nos cursos de tecnologia e engenharia do instituto. Trabalhos futuros serão realizados a fim de fabricar a prótese através da estampagem, além de utilizar softwares livres como Blender e FreeCAD como ferramentas CAD/CAM aplicadas ao projeto.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal da Paraíba – *Campus* João Pessoa por disponibilizar laboratórios, equipamentos e ferramentas necessárias para o desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, I. et al. Fatores desencadeantes ao trauma crânio-encefálico em um hospital de emergência municipal, **Revista Baiana de Saúde Pública**, Salvador, v. 34, n. 2, p. 240-253, abr./jun. 2010

BAZAN, O. **Usinagem de próteses para crânioplastia a partir de imagens tomográficas**. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba, 2004

BOTEGA, R. **Projeto de desenvolvimento de dispositivos de usinagem para cirurgia de recapeamento do quadril**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, São Carlos, 2015.

COSTA, D. D.; PEDRINI, H.; BAZAN, O.; Usinagem de próteses a partir de imagens tomográficas. Curitiba; Universidade Federal do Paraná. Disponível em:
<http://www.labusig.ufpr.br/projetos/cobef_2005.pdf>. Acesso 18 set. 2016

CASTELAN, J.; FRITZEN, D.; Utilização de tecnologias CAD/CAM e prototipagem rápida na engenharia médica. *In: XXI SIMPÓSIO DE GEOMETRIA E DESENHO TÉCNICO; X INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN*, 2013. Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: CCE –UFSC, 2013. p. 1. CD-ROM.

FERRAZ, E. M.; A cirurgia segura: uma exigência do século XXI. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, Rio de Janeiro, RJ, v36, n. 4, p. 281-282. 2009

FRITZEN, D. **Estudo do Processo Estampagem Incremental em Chapa de Latão70/30**. 2012. 124 f. Trabalho de dissertação de mestrado em engenharia - Escola de Engenharia- Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2012.

InVesalius 3.0. Beta 5. São Paulo: Centro de Tecnologia da Informação Ricardo Archer, 2001. Disponível em: <http://www.cti.gov.br/invesalius/?page_id=8&lang=pt>. Acesso 30 set. 2016.

CNC MANUFACTURE OF A BIOMODEL AND MOLD FOR PRINTING A CUSTOMIZED CRANIAL PROSTHETIC

Abstract: *The project of biomodelos and implants to measure is outstanding in the area of health, such as cranioplasty, dentistry and orthopedics. They present better results from the aesthetic, economic and post-surgical recovery point of the patient. A biomodel is a physical model of a solid part of the patient's anatomy, usually made by rapid prototyping, direct machining or by incremental stamping. This paper presents the results obtained in the pioneer project of mechanical manufacture applied to Biomedical Engineering occurred at IFPB - João Pessoa Campus. The use of the computational resources taught in the manufacturing disciplines of the IFPB's technology and engineering courses allows the visual planning and the digital assembly of parts to anticipate implant manufacturing. In this work, the CAD / CAM / CNC technologies associated with the free software InVesalius 3.0 - Beta 5 were used, with the objective of producing, by direct machining, a biomodel and a mold for incremental stamping by Positive Asymmetric Support of a cranial prosthesis.*

Key-words: *Biomedical Engineering, CAD/CAM/CNC, machining center.*