

Protocolo para Desenvolvimento de Biomodelo 3D com Reconstrução de Complexo Zigomático-Órbito-Maxilar

Eduardo Macário Duarte^{1,2}, Leonardo Mendes Ribeiro Machado¹, Felipe Meireles Aun Barbosa^{1,2}, Thiago Nunes Palhares^{1,3}, Paula Midori Kaneko^{1,3}, Marcelo Fernandes de Oliveira¹

{emduarte, leonardo.machado, fmabarbosa, tpalhares, pkaneko, mfolivei}@cti.gov.br

¹CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP

²Pontifícia Universidade Católica de Capinas – Campinas/SP

³Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) – Rio de Janeiro/RJ

Abstract. *This article presents a protocol for using free software to create a 3D skull biomodel with reconstruction of the zygomatic-orbitomaxillary complex of a patient with a facial fracture. The methodology uses InVesalius software to visualize and create the 3D surface through patient imaging. This surface was then processed and manipulated using MeshMixer software to create the final product: the reconstructed biomodel. The technique was developed on a real case, and the results demonstrate its effectiveness, demonstrating good aesthetic outcomes and the possibility of printing it in polyamide-12 for later use in surgical planning.*

Resumo. *Este artigo apresenta um protocolo para a utilização de softwares livres na criação de biomodelo 3D de crânio com reconstrução do complexo zigomático-órbito-maxilar de paciente com fratura em face. Para isso, a metodologia é composta pela utilização do software InVesalius para a visualização e criação da superfície 3D através de exames de imagens do paciente que, posteriormente, foi tratada e manipulada no software MeshMixer para a criação do produto final, o biomodelo reconstruído. A técnica foi desenvolvida em um caso real e os resultados comprovam a sua eficácia, demonstrando bom desfecho estético e possibilidade de sua impressão em poliamida-12, para posterior utilização em planejamento cirúrgico.*

Palavras-chaves: *Biomodelo 3D, Espelhamento Virtual, MeshMixer, InVesalius, Segmentação Virtual, Planejamento cirúrgico, Imagens médicas, Fratura de face, Trauma de face, Complexo Zigomático-Órbito-Maxilar, Osteossíntese.*

1.Introdução

As fraturas de faces são perdas da continuidade de determinado osso por ruptura, resultantes de sobrecarga mecânica por forças capazes de superar a resistência óssea ANDRADE (2021). Elas decorrem de traumas de face, um grande problema de saúde pública na atualidade, que estão diretamente ligados a fatores como o uso de álcool, drogas, direção perigosa dos veículos e o crescente aumento da violência urbana SÁ(2023). A maior ocorrência sucede no sexo masculino, com média de idade entre 20 à 40 anos, com os principais agentes etiológicos sendo os acidentes automobilísticos e motociclísticos, violência interpessoal, acidentes esportivos e os domésticos FARIAS (2024). Em relação às estruturas ósseas mais afetadas são: mandíbula; osso nasal, maxilar ou zigomático e complexo zigomático-órbito-maxilar VIANA(2022).

A abordagem atual padrão-ouro para o manejo das lesões em complexo zigomático-órbito-maxilar são as cirurgias de osteossíntese com utilização de sistema de fixação com placas e parafusos de titânio PINHEIRO (2025). Esse tipo de técnica cirúrgica, associado ao metal utilizado, permitem uma fixação rígida e segura, garantindo maior estabilidade e previsibilidade na restauração das funções mastigatórias e oclusivas, além de ótimos resultados estéticos nas cirurgias de reconstrução com simetrização facial FERNANDES (2022).

Um biomodelo 3D é a representação de uma ou várias estruturas anatômicas que é obtido através de métodos de escaneamento do total ou uma parte corpo do ser humano, como realizada em tomografia computadorizada. Nela, temos a obtenção de uma série de imagens do objeto escaneado que, após o tratamento adequado delas, é realizada a modelagem tridimensional com a utilização de softwares computacionais para obtenção de um biomodelo 3D, que pode encontrar-se em formato virtual ou físico NETO, (2022). Este, quando obtido ao adotar a utilização de tecnologia de impressão 3D, possibilita a sua utilização em períodos pré-operatórios para a escolha da melhor técnica operatória para a cirurgia proposta e na explicação de maneira visual do procedimento ao paciente, além do emprego no intra-operatórios para o preparo dos equipamentos que serão personalizados e implantados na anatomia do paciente, como moldagem de placas de fixação óssea ROSA, (2024).

Nesse sentido, a adoção desses biomodelos em cirurgias de osteossíntese de complexo zigomático-órbito-maxilar permitem a criação de modelos anatômicos personalizados para cada paciente, ofertando aos cirurgiões a capacidade de visualizar as lesões faciais no período pré-operatório e a possibilidade de um planejamento cirúrgico preciso, garantindo a modelagem das placas de fixação óssea sob medida para as necessidades anatômicas do paciente , além da redução do tempo de procedimento e na garantia dos melhores resultados cirúrgicos possíveis VALIM, (2024).

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é apresentar um protocolo para a utilização de software livre na criação de um biomodelo 3D de crânio com reconstrução do complexo zigomático-órbito-maxilar de uma paciente vítima de violência física em face, resultando em fratura complexa de face. Posteriormente, haverá a sua impressão e envio do mesmo ao médico responsável pelo planejamento cirúrgico que o utilizará para a modelagem pré-operatória de placas de fixação de titânio em cirurgias de reconstrução do complexo zigomático-órbito-maxilar. Para isso, o presente artigo baseou-se em um caso enviado ao ProMed/CTI Renato Archer para a sua elaboração.

2. Metodologia

O processo de criação do biomodelo 3D requisitou de um conjunto de etapas para se obter os melhores resultados funcional e estético para o paciente no procedimento cirúrgico de reconstrução facial, onde foi utilizada uma tomografia computadorizada para a visualização e compreensão da lesão facial, como também para a confecção da peça final. A Figura 1 ilustra a superfície tridimensional confeccionada no software livre InVesalius a partir da tomográfica computadorizada de crânio enviada pelo cirurgião responsável pelo paciente, na qual demonstra a sua condição anatômica real anterior ao ato operatório (reconstrução do complexo zigomático-órbito-maxilar), evidenciando a região comprometida pela agressão física em face.

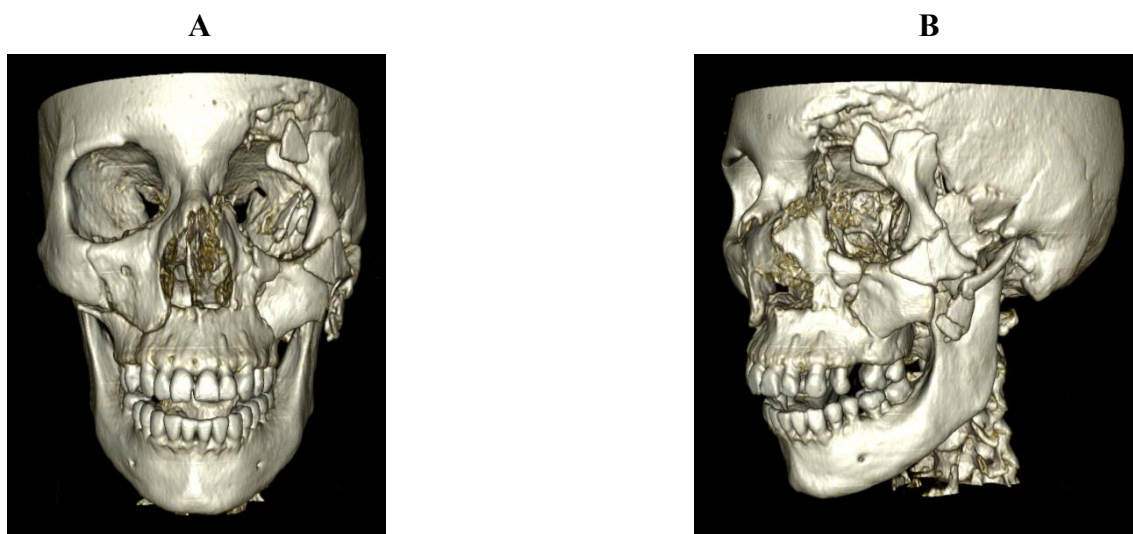


Figura 1 - (A) Vista anterior do crânio fraturado. Fonte: Autoral. (B) Vista antero-lateral esquerda do crânio fraturado, evidenciando a fratura em complexo zigomático-órbito-maxilar. Fonte: Autoral.

O processo de planejamento cirúrgico virtual para a criação do biomodelo personalizado foi realizado no software livre MeshMixer. Inicialmente, as imagens tomográficas foram tratadas e segmentadas no software InVesalius, no qual gerou-se uma superfície 3D do crânio e da mandíbula, que foram exportadas e abertas no MeshMixer. Neste, como primeiro passo, foi utilizada apenas a superfície tridimensional do crânio, na qual foi realizada a separação da maxila que foi fraturada e deslocada do restante do crânio, como observado na figura 2, na qual, a mesma, será reconstruída e reposicionada em um segundo momento.

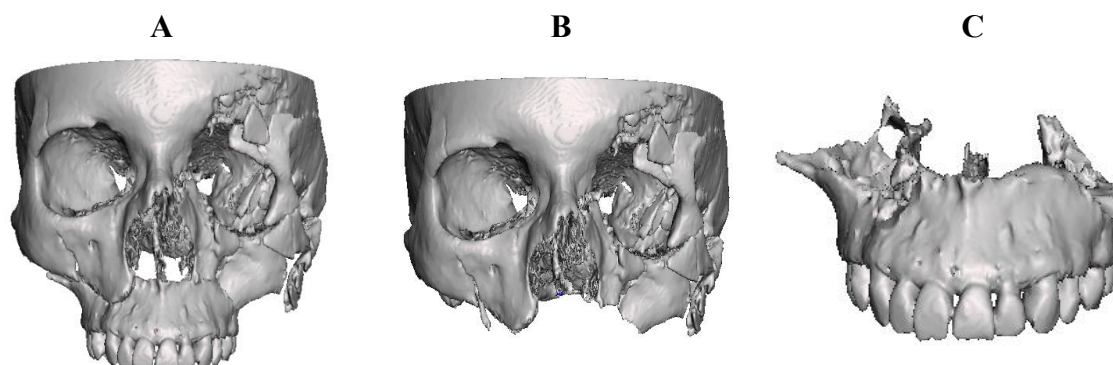


Figura 2 – (A) Vista anterior do crânio fraturado antes da separação da maxila do restante do crânio, podendo ser visualizada a fratura em complexo zigomático-órbito-maxilar, com a maxila deslocada do restante do crânio. Fonte: Autoral. (B) Crânio com fratura em complexo zigomático-órbito-maxilar após retirada da maxila via software MeshMixer. Fonte: Autoral. (C) Maxila após o processo de separação, na qual será reconstruída e reposicionada posteriormente. Fonte: Autoral.

Em seguida, foi realizado no crânio fraturado separado da maxila o processo de espelhamento do hemicrânio direito a fim de obter uma superfície que permitisse a reconstrução do hemicrânio esquerdo lesionado. Para isso, utilizou-se a ferramenta *plane cut* para cortá-lo em plano sagital em duas superfícies simétricas, figura 3, realizando o *separate shells* em seguida para criar duas superfícies independentes. Após, foi aplicado o *mirror* e o *separate shells*, desse modo espelhando o hemicrânio saudável (lado direito) e posicionando-o acima da superfície fraturada (lado esquerdo), deixando-as o mais alinhadas e simétricas possíveis. Foi necessário a remoção dos retalhos ósseos resultantes da fratura, como visualizado na figura 4. Nesse sentido, foi obtida uma parte do biomodelo final, como mostrado na figura 5.

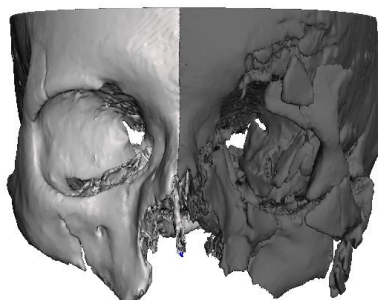


Figura 3 – Hemicrânio saudável em cinza claro e o lesionado em cinza escuro após a aplicação da ferramenta *plane cut*. O hemicrânio em cinza claro será utilizado para realização do espelhamento, criando uma superfície espelhada para o lado esquerdo em relação ao lado direito. Fonte: Autoral.

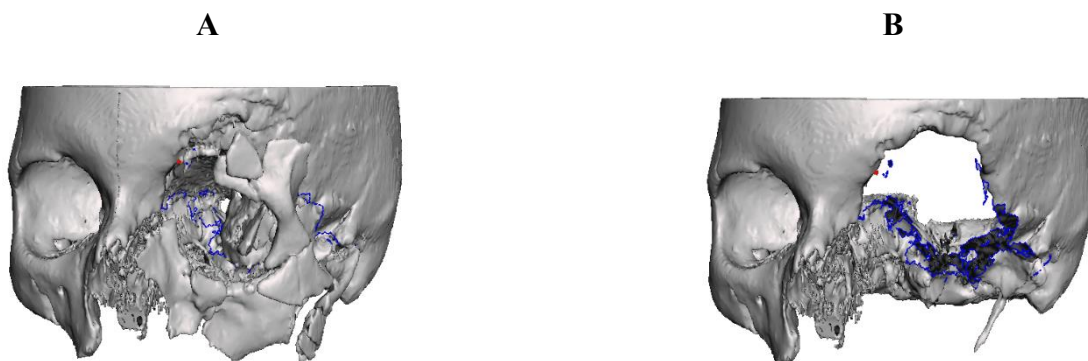


Figura 4 – (A) Crânio com a presença dos retalhos ósseos resultantes da fratura em face. Fonte: Autoral. (B) É possível visualizar o crânio que foi realizada a remoção dos retalhos ósseos utilizando a ferramenta *select*. Fonte: Autoral.

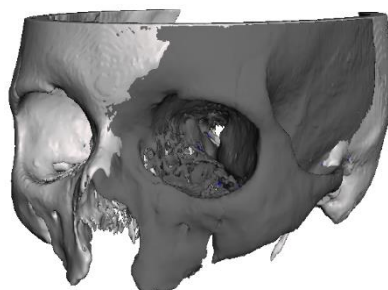


Figura 5 – Parte do crânio sem a maxila após o processo de espelhamento e alinhamento da superfície espelhada (em cinza escuro) com a lesionada. Fonte: Autoral.

Após a reconstrução da parte do crânio sem a maxila, realizou-se a reconstrução da maxila e o seu reposicionamento. Para isso, aplicou-se o mesmo processo de espelhamento descrito anteriormente, diferenciando que não houve a necessidade de remoção de nenhum retalho ósseo resultante da fratura (figura 6) , obtendo-se, assim, a maxila reconstruída, a qual foi reposicionada no crânio reconstruído na etapa anterior, alinhada com a mandíbula para a obtenção de melhores resultados funcionais e estéticos, como observado na figura 7.

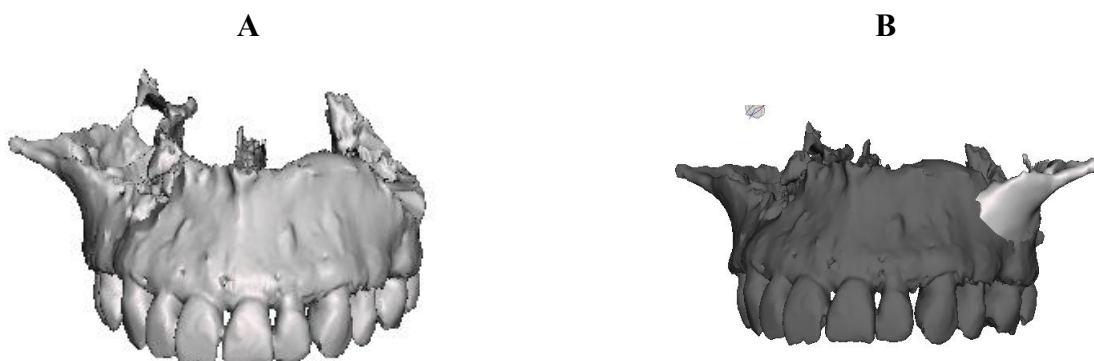


Figura 6 – (A) Vista anterior da maxila lesionada antes do processo de espelhamento e reconstrução. Fonte: Autoral. (B) Maxila reconstruída. Em cinza escuro é possível visualizar a maxila lesionada; em cinza claro observa-se a região faltante, obtida pelo processo de espelhamento do lado íntegro. Fonte: Autoral.

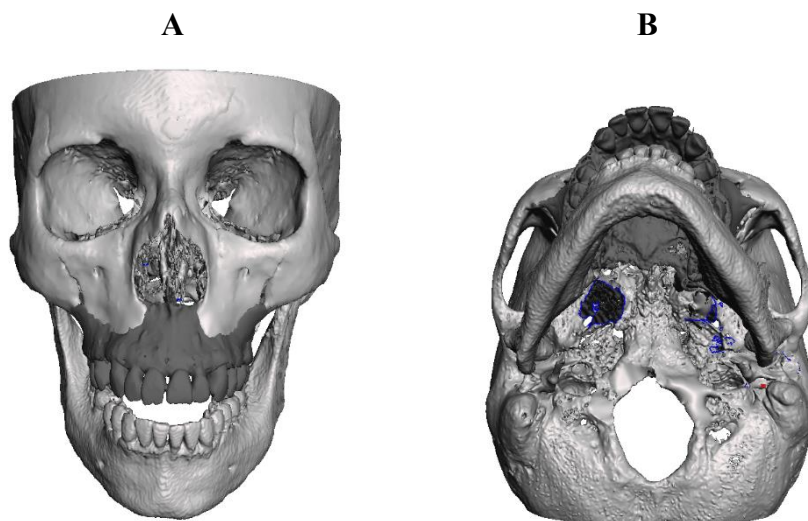


Figura 7 – (A) Vista anterior da maxila reconstruída, em cinza escuro, reposicionada no crânio corrigido em etapas anteriores, podendo observar alinhamento dos dentes maxilares com os mandibulares. Fonte: Autoral. (B) Vista inferior da maxila, em cinza escuro, evidenciando o alinhamento desta com a mandíbula, garantindo o melhor resultado funcional e estético. Fonte: Autoral.

Por fim, para a criação do biomodelo final, foi necessário realizar a união das quatro superfícies criadas ao longo do protocolo, ilustrada na figura 8. Para isso, fez-se necessário selecioná-las e combiná-las em uma peça tridimensional única, obtida pela utilização da ferramenta *combine* e, posteriormente, com a aplicação do *make solid*, resultando na criação do biomodelo final.

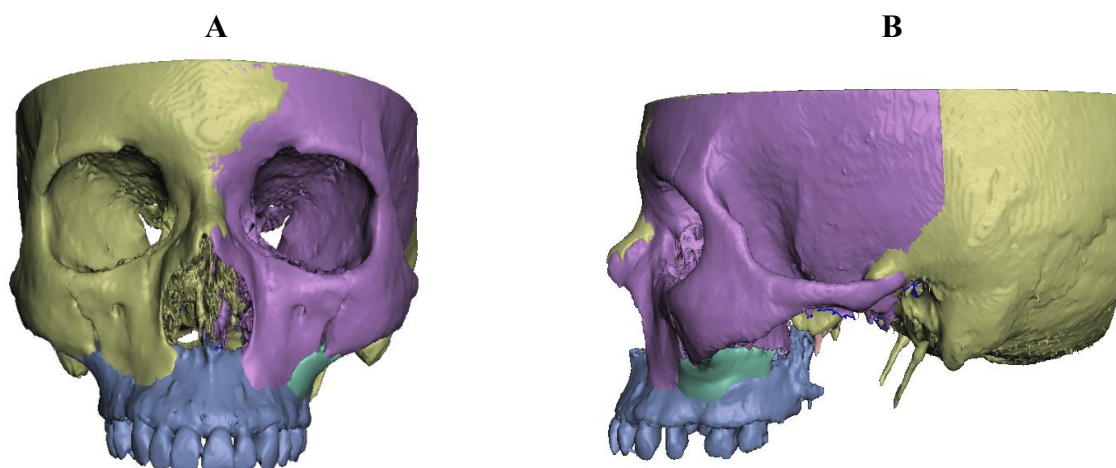


Figura 8 – (A) Possível visualizar as quatro superfícies que foram confeccionadas ao longo do protocolo descrito: Em amarelo, crânio sem os retalhos ósseos resultantes da fratura; em roxo, hemicrânio espelhado; em azul, maxila reposicionada; em verde, segmento espelhado da maxila. Fonte: Autoral. (B) Vista lateral esquerda das superfícies selecionadas para serem combinadas. Fonte: Autoral.

3.Resultados

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia de criação de um biomodelo 3D de crânio com reconstrução do complexo zigomático-órbito-maxilar de uma paciente vítima de violência física em face, resultando em fratura complexa de face. Como

resultado do método aplicado, foi obtido o arquivo em formato STL binário do biomodelo tridimensional com reconstrução do complexo zigomático-órbito-maxilar, como é possível visualizar na figura 9. Esse arquivo seria utilizado para a impressão do biomodelo 3D em poliamida-12 utilizando a tecnologia SLS, técnica de impressão realizado no CTI Renato Archer, porém acabou não sendo realizada no caso em questão devido às solicitações do cirurgião responsável pelo caso.

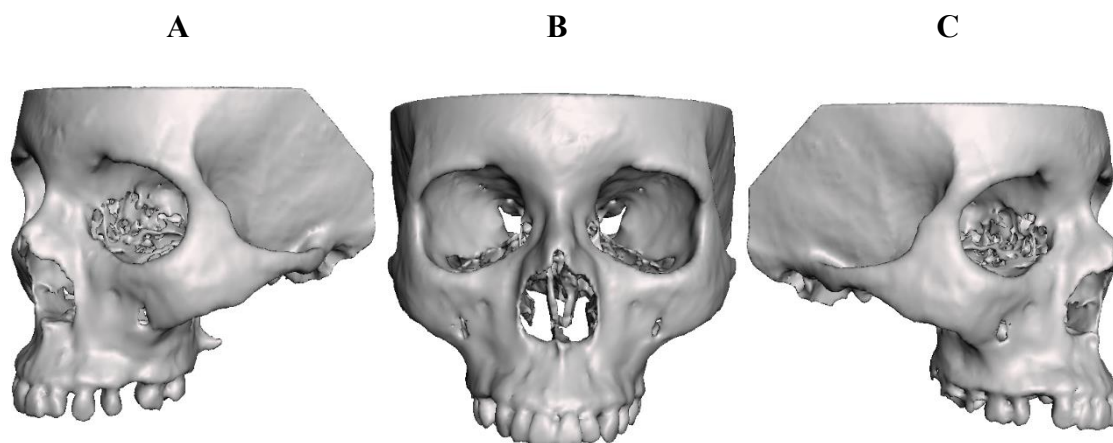


Figura 9 – (A) Vista anterolateral esquerda do biomodelo finalizado, após a aplicação da ferramenta *make solid*. Fonte: Autoral. (B) Vista anterior do biomodelo finalizado. Fonte: Autoral. (C) Vista anterolateral direita. Fonte: Autoral.

4.Conclusão

O protocolo desenvolvido demonstrou atender ao objetivo proposto neste artigo, o qual utilizou o software MeshMixer, um software de acesso livre, para a criação de biomodelo 3D de crânio com reconstrução do complexo zigomático-órbito-maxilar personalizado para pacientes vítimas de traumas de face, em especial por violência física com fraturas complexas. O resultado comprovou a eficácia do protocolo apresentado, cujo biomodelo personalizado confeccionado apresentou desfecho satisfatório, com bons desdobramentos estéticos, além de garantir a possibilidade de ser impresso por técnica de impressão 3D em SLS com poliamida-12(PA-12). Posteriormente à impressão, o biomodelo é utilizado no planejamento cirúrgico de atos operatórios de reconstrução facial, o qual auxilia na moldagem pré-operatórias de placas de metais, como o titânio, sob medidas para o paciente que serão fixadas nos ossos da face para reestabelecer da melhor forma a funcionalidade e a estética do mesmo. A figura 10 é um modelo ilustrativo para exemplificar a utilização do biomodelo 3D impresso no processo de modelagem pré-operatória das placas metálicas de fixação.

Como possibilidade de trabalhos futuros, é possível a aplicação do protocolo em outros casos de pacientes vítimas de trauma de face, sendo observado os resultados obtidos, analisando a eficácia do método proposto e se é necessário fazer alguma alteração ou adição de passos no protocolo.

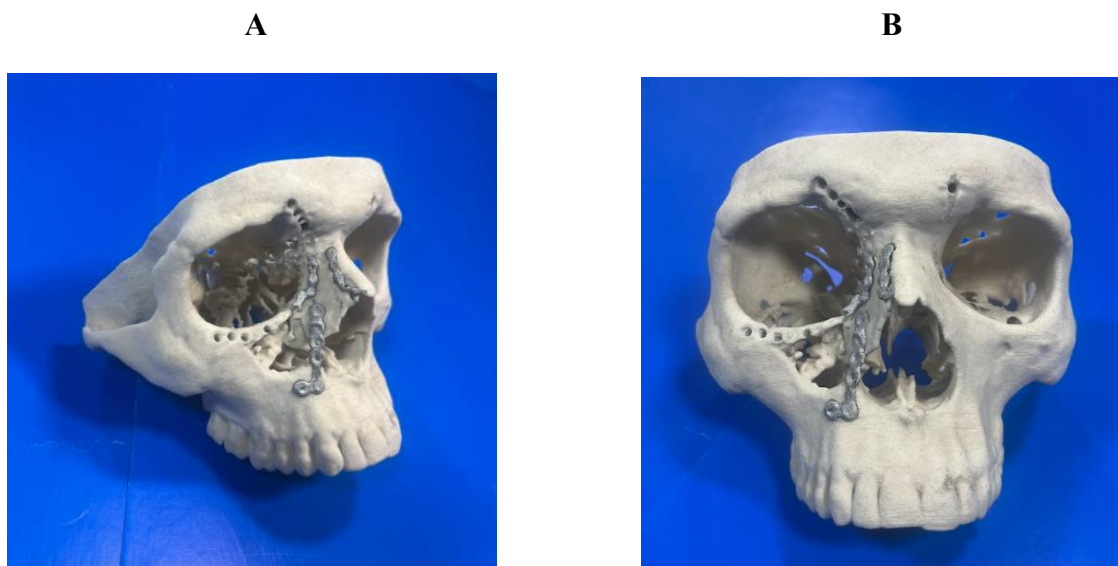


Figura 10 – (A e B) Biomodelo tridimensional impresso por tecnologia SLS em PA-12, não correspondente ao caso relatado, apenas um modelo demonstrativo. Exemplificação do processo de modelagem pré-operatória das placas metálicas de fixação, a qual encontram-se na coloração prateada acima dos ossos maxilar e nasal, ambos direitos. Fonte: Autoral.

5.Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Marcelo F. de Oliveira, e ao meu coorientador, Leonardo M. R. Machado, pelos ensinamentos e orientações ao longo do período em que estive presente no CTI Renato Archer, no qual sempre fui tratado com muita cordialidade, apoio e lições de vida. Agradeço por introduzirem-me ao meio de pesquisa de uma forma prazerosa, mostrando-me assuntos que estão sendo desenvolvidos dentro do tema do meu projeto de pesquisa, temas esses que possuem muitos valores e contribuições para a minha formação acadêmica na área da saúde. Ademais, gostaria de agradecer a Paula M. Kaneko, ao Paulo Amorim e ao Thiago Palhares pela paciência, tempo expedido e ensinamentos a respeito do uso dos softwares Invesalious e MeshMixer, ferramentas que foram essenciais para a elaboração e desenvolvimento de atividades dentro do laboratório LaPrint situado no CTI Renato Archer, além da grande importância para a elaboração deste artigo. Desejo gratidão ao Felipe M. A. Barbosa, amigo que esteve comigo em toda trajetória durante a minha pesquisa, o qual compartilhou momentos de aprendizado e dúvidas, sempre buscando superar os desafios levantados no cotidiano do laboratório LaPrint. Devo o meu agradecimento ao Jaime Khater, à Carla Geovanna N. Macário, ao Alexandre A. Duarte e à Maria Raiane S. Costa por terem sempre apoiado-me em minha trajetória, oferecendo ajuda quando mais precisava. Por fim, quero agradecer ao chefe do laboratório LaPrint, Pedro Noritomi, e a todos os pesquisadores presentes nele, a qual sempre foram solícitos em ajudar com eventuais dúvidas relacionadas a minha pesquisa. Sou grato ao CNPQ, à comissão PIBIC e ao CTI Renato Archer pela oportunidade da bolsa de iniciação científica e do espaço cedido para poder executá-la.

6.Referências

- [1] ANDRADE, M. J. H. *et al.* Estudo Epidemiológico de fraturas faciais em uma sub-população brasileira. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. 1-8, 2021.

- [2] SÁ, T. M. *et al.* Revisão de literatura: O difícil manejo do trauma de face. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 8, 2023.
- [3] FARIA, A. C. *et al.* Perfil epidemiológico dos casos de traumas bucomaxilofacial de pacientes atendidos em um hospital ao norte do Piauí: um estudo retrospectivo de 5 anos. **Revista Gaucha de Odontologia**, Porto Alegre, v. 72, 2024.
- [4] VIANA, R. S; BARROS, J. N. P. Perfil Epidemiológico das Fraturas de Face: Uma Revisão de Literatura. **Revista Fluminense de Odontologia**, Niterói, v. 1, n. 57, p. 18-30, 2022.
- [5] PINHEIRO, Alicia *et al.* Reconstrução de fraturas faciais com placas de titânio: uma revisão de literatura. In: **Oftalmologia e Otorrinolaringologia**. Ed. 2. [S. l.]: Editora Pasteur, p. 57-62, 2025. Capítulo 9.
- [6] FERNANDES, B. R. *et al.* Tratamento de fratura de face incomum em paciente pediátrico. **Archives of Health Investigation**, v. 11, p. 836, 2022.
- [7] NETO, G. E. A. *et al.* A utilização de biomodelos em 3D no aprendizado da anatomia humana: uma experiência técnica e metodológica. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022.
- [8] ROSA, E. Cirurgia de reconstrução das fraturas do terço médio da face do tipo le fort iii (disjunção crâniofacial): uma revisão de literatura. **Revista Tópicos**, v. 2, 2024.
- [9] VALIM, O. Q. C. M. *et al.* MANEJO INTEGRADO DE POLITRAUMAS FACIAIS: UMA REVISÃO DE ABORDAGENS E DESAFIOS. **Revista CPAQV - Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida**, [S. l.], v. 16, n. 2, 2024.