



USO DE TECNOLOGIAS TRIDIMENSIONAIS E IMPRESSÃO 3D EM CIRURGIAS DE RECONSTRUÇÃO BUCO-MAXILO-FACIAL

Carlos Alberto Costa ^[0000-0001-5623-8411], Área Ciências Exatas e Engenharia, UCS, cacosta@ucs.br

Lucas Buratti Costi ^[0000-0002-0576-4961], Área Ciências Exatas e Engenharia, lbcosti@ucs.br

Tatiana Antonia Morés ^[0000-0002-0484-9082], Grupo Hospitalar Conceição, tatianamores@outlook.com.br

Resumo. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um método de apoio ao planejamento de cirurgias de reconstrução buco-maxilo-facial, através da aplicação de tecnologias tridimensionais e da manufatura aditiva. Foram estudados os métodos convencionais para cirurgias de reconstrução buco-maxilo-facial, o tratamento e transformação de imagens na área médica, e as técnicas de manufatura aditiva aliadas a especialidade. O método desenvolvido foi dividido em três etapas principais: etapa de obtenção do caso clínico e geração de biomodelos; etapa de transformação de arquivos em formatos editáveis; e etapa de aplicação de tecnologias tridimensionais como apoio ao planejamento cirúrgico. O caso estudado envolve uma condição de anquilose da articulação têmporo-mandibular do lado direito e no planejamento cirúrgico, verificou-se a possibilidade de desenvolvimento de um guia cirúrgico para auxiliar a condilectomia baixa. A mandíbula e o guia gerados foram impressos e testados para validação do caso.

Palavras chave: Reconstrução buco-maxilo-facial. Gabaritos. Manufatura aditiva. Tecnologias tridimensionais.

1. INTRODUÇÃO

Técnicas de Manufatura Aditiva (MA) e de digitalização tridimensional de modelos geométricos do corpo humano cada vez mais são utilizadas na área médica, com o intuito de auxiliar em processos pré-operatórios, em simulações cirúrgicas e no desenvolvimento e confecção de próteses (Yacubian-Fernandes *et al.*, 2004). A área da Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial (CTBMF) compreende o diagnóstico e tratamento de doenças traumáticas, ocorridas nas regiões buco-maxilo-facial e estomatognática (Carvalho *et al.*, 2010). Essa especialidade consiste no tratamento de anomalias, doenças e tumores presentes na cavidade oral e regiões anexas, para o esqueleto facial e seus tecidos moles (Silva; Sissi e Mustafá, 2018). Para possibilitar sua aplicação na área médica, a MA é incorporada a técnicas de imagiologia, como a Tomografia Computadorizada (TC). As imagens provenientes da TC são processadas por softwares específicos, como InVesalius e Mimics, os quais possibilitam a segmentação das diferentes estruturas existentes no corpo humano. Seus algoritmos reconstróem o modelo 3D da estrutura selecionada para análise a partir das imagens, sendo possível a exportação destes modelos em tipos de arquivos compatíveis com a MA e softwares de CAD (Jardini *et al.*, 2015). Os principais ganhos evidenciados com a utilização dessas tecnologias supracitadas são na redução do tempo cirúrgico e na possibilidade de obtenção de melhores resultados estéticos. Consequentemente, diminui-se a taxa e o risco de infecções provenientes dos procedimentos (Vieira, Schnneider; Siqueira, 2012).

Diferentes métodos são empregados quando realizados procedimentos na área da CTBMF. O tipo de reconstrução é dependente de aspectos como o local, a gravidade da lesão, os objetivos do paciente com o procedimento e outros. Casos que envolvem procedimentos intraoperatórios de reconstrução acabam sendo complexos, além de desafiadores para a obtenção de resultados funcionais e estéticos satisfatórios. (Hatamleh *et al.*, 2016). Em casos de procedimentos cirúrgicos reconstrutivos envolvendo as regiões da mandíbula e cavidade oral, posteriores a tratamentos de tumores, o principal método de reconstrução se dá pela utilização de enxerto ósseo autólogo. A seleção das áreas doadoras para a enxertia autóloga depende de fatores como o tipo de defeito ósseo, o tipo de enxerto ósseo, o volume necessário, entre outros. Defeitos ósseos menores podem utilizar áreas doadoras intrabucais (túber da maxila, retromolar, mento) enquanto defeitos ósseos maiores necessitam de áreas doadoras externas (fíbula, costelas, tibia, íliaco e calota craniana) (Faverani *et al.*, 2014). Segundo dados obtidos pela plataforma TABNET e disponibilizados pelo DATASUS (2021), o período de janeiro de 2020 a janeiro de 2021 registrou, no Brasil, aproximadamente 26 mil casos de internação por neoplasia maligna do lábio, cavidade oral e faringe.

A implementação da MA e de técnicas de CAD na medicina possibilitou a obtenção de melhor performance dos cirurgiões na área da reconstrução buco-maxilo-facial, com melhores resultados globais (Hatamleh *et al.*, 2016). Esse trabalho aborda as aplicações de tecnologias tridimensionais direcionadas para a área da CTBMF, objetivando o desenvolvimento de um método de apoio ao planejamento cirúrgico, visto que o emprego dessas técnicas se mostra extremamente benéfico nessa etapa do processo e, consequentemente, nas fases posteriores (operatória e pós-operatória).

De modo geral, os sistemas convencionais de CAD conseguem importar arquivos STL. Porém, para manipular os modelos, são necessários procedimentos de engenharia reversa para realizar sua conversão. Algumas aplicações já possibilitam o trabalho diretamente em arquivos STL, como é o caso do software Magics, da Materialise (Jardini *et al.*, 2016). Apesar da praticidade apresentada pelas ferramentas que possibilitam a manipulação nativa de arquivos STL, muitas vezes seu custo acaba inviabilizando a implementação se não houver uma demanda justificável. A conversão de um formato STL para um formato editável por ferramentas de CAD, por exemplo STEP ou IGES, pode ser realizada de

diferentes formas. Existem trabalhos que propõem o uso de softwares e ferramentas de custo mais acessível, porém, para se atingir um alto nível de confiabilidade na área médica, para as soluções práticas, se faz necessário a utilização de aplicações minimamente confiáveis, pois trata-se de um processo de desenvolvimento e fabricação de dispositivos de precisão dimensionais e geométricas e serem manipulados por cirurgiões especialistas (Costa *et al.*, 2020b; Jardini *et al.*, 2016; Brennan *et al.*, 2017; Bosc *et al.*, 2017; Hatamleh *et al.*, 2016, Foley *et al.*, 2013). Assim, a aplicação da MA no planejamento cirúrgico proporciona benefícios tanto para o cirurgião quanto para o paciente. A redução do tempo cirúrgico e a obtenção de melhores resultados estéticos, aliados à diminuição da taxa e risco de infecções são os principais ganhos evidenciados (Vieira, Schnneider; Siqueira, 2012).

2. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A Fig. 1 apresenta o fluxograma proposto por esse trabalho, dividido em três etapas principais: Etapa 1: atividades envolvendo a obtenção do caso clínico e geração dos biomodelos em formato STL; Etapa 2: atividades envolvendo a transformação do formato STL em formato editável por ferramentas CAD; Etapa 3: atividades compreendendo o planejamento cirúrgico, com estudos de reconstrução, modelagem 3D de soluções, fabricação por prototipagem rápida e aplicação dos biomodelos, destinadas ao apoio à cirurgia.

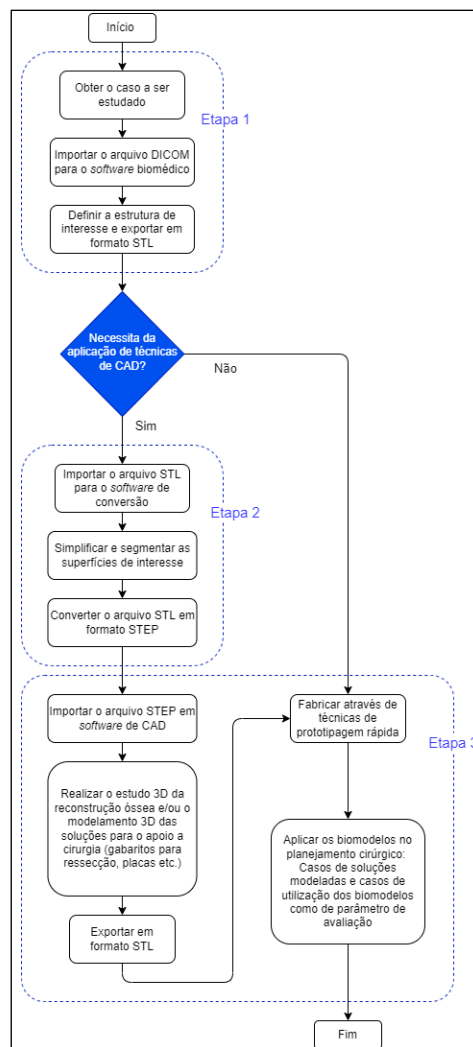


Figura 1. Fluxograma de atividades proposto pelo estudo

O relato de caso utilizado para aplicação do método proposto e desenvolvimento do trabalho foi fornecido de uma biblioteca de casos, obtido através de um exame de tomografia computadorizada tradicional. O exame foi efetuado em um paciente do sexo feminino, que apresenta a condição de anquilose da Articulação Têmporo-Mandibular (ATM) do lado direito. Esse paciente passou por procedimentos operatórios de remoção de um osteoma (tumor de crescimento ósseo benigno), sendo aplicada uma placa de fixação no lado direito da mandíbula e material aloplástico na região do côndilo.

A anquilose da ATM se formou após a cirurgia de remoção do osteoma. O exame clínico realizado identificou uma assimetria facial considerável, uma abertura da boca prejudicada, com piora gradual, e desvio da boca para o lado esquerdo durante a abertura. O planejamento cirúrgico inicial estipulado pelos cirurgiões foi realizar a remoção do material de osteossíntese prévio e uma condilectomia à direita, através de osteotomias da parte lateral e medial do bloco ósseo existente, utilizando motor e brocas, e cinzel e martelo, respectivamente. A Fig. 2 apresenta o biomodelo obtido ao término dessa etapa de reconstrução utilizando o software InVesalius.

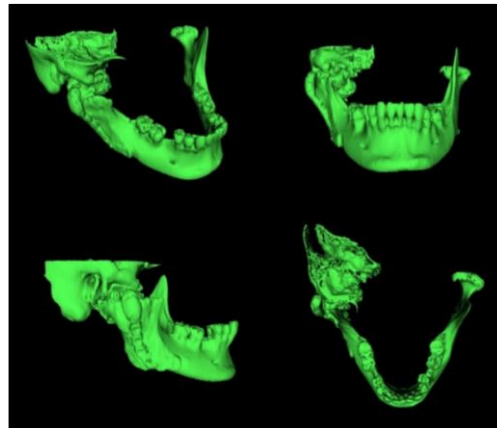


Figura 2. Biomodelo da mandíbula e bloco ósseo da anquilose

O biomodelo em formato STL foi importado para o software Rhinoceros 7. Foram observadas diversas estruturas internas, as quais foram entendidas como desnecessárias para o estudo em questão. Assim sendo, eliminou-se as estruturas internas existentes, mantendo apenas a geometria óssea externa. Para facilitar a manipulação, com o arquivo ainda no formato de malha STL e utilizando alguns planos de corte, dividiu-se a malha original em três partes: mandíbula esquerda; mandíbula direita; e bloco ósseo da anquilose (Fig.3). Com a malha dividida em três partes, inicialmente eliminou-se as estruturas internas existentes nas divisões da mandíbula esquerda e mandíbula direita. Foram utilizadas ferramentas de malha de eliminação de faces e fechamentos de furos para possibilitar tais simplificações. Também, optou-se por simplificar algumas regiões entendidas como muito complexas para o processo posterior de manufatura aditiva, como foi observado, por exemplo, na arcada dentária. Essa etapa foi realizada de modo a não comprometer o desenvolvimento dos gabaritos. Com tais simplificações, buscou-se também obter como resultados superfícies totalmente fechadas, exceto pelas arestas de intersecções entre as três partes anteriormente divididas.

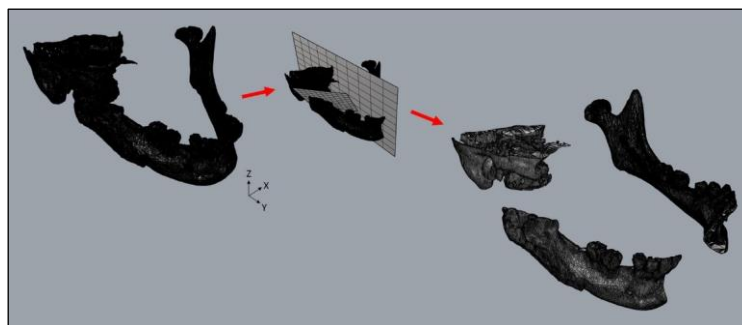


Figura 3. Separação da superfície em 3 segmentos: mandíbula esquerda; mandíbula direita; e bloco ósseo da anquilose

O bloco ósseo da anquilose possuía uma geometria extremamente complexa, com estruturas internas irregulares e de difícil manipulação, devido à formação óssea da região. Assim, para tornar essa simplificação um processo viável, foi utilizada a ferramenta de redução de malha, reduzindo em 90% o número de faces existentes nessa região, porém mantendo originais as arestas de interface com a mandíbula direita para não comprometer a união posterior das partes. Alguns planos de corte também foram utilizados de modo a restringir a estrutura do bloco ósseo da anquilose a ser impresso através da manufatura aditiva e facilitar a simplificação. Novamente, buscou-se obter uma superfície totalmente fechada, utilizando ferramentas de malha de eliminação de faces e fechamentos de furos, com o objetivo de eliminar as estruturas internas existentes e simplificar regiões entendidas como muito complexas para processos posteriores. O intuito de manter a geometria do bloco ósseo da anquilose acaba sendo de fornecer à equipe odontológica uma ideia de volume ocupado. Portanto, as superfícies obtidas não são utilizadas para o desenvolvimento de gabaritos de corte e sua simplificação não compromete os procedimentos posteriores, porém se faz necessária para possibilitar a prototipagem

rápida. A Fig. 4 apresenta a progressão obtida com a simplificação da malha desta região, utilizando as ferramentas citadas, e planos de corte.

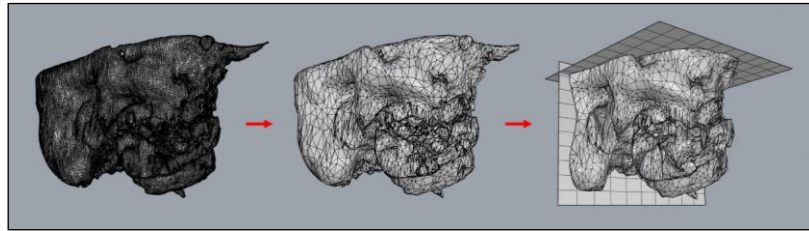


Figura 4. Simplificação do bloco ósseo da anquilose

Para possibilitar a transformação da malha de elementos triangulares (característica do arquivo STL) em polisuperfícies foi utilizada a extensão Mesh2Surface do Rhinoceros. Essa extensão possibilita realizar a conversão em elementos quadrados no formato polisuperfície, permitindo a definição do grau de detalhes desejados (low, medium, fine), além de um grau customizado (custom), tendo como entrada o número de faces pretendido pelo usuário. Nessa fase é constatado que, quanto mais complexa a geometria a ser recoberta pelas polisuperfícies, maior o número de faces necessários para se obter uma alta confiabilidade da ferramenta. Para o biomodelo em questão, definiu-se o grau de detalhes da conversão em custom, com o valor de 50 mil faces. O resultado da conversão foi avaliado e, visualmente, entendeu-se com um recobrimento da superfície satisfatório em relação ao arquivo STL obtido por meio da reconstrução 3D do exame de imagem, para as partes direita e esquerda da mandíbula. Como esperado, na região do bloco ósseo da anquilose não se obteve um recobrimento adequado da malha, porém cumpriu com o objetivo de fornecer para a equipe odontológica a percepção de volume da região. Após, a malha gerada foi exportada para o formato STEP.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Com o arquivo da mandíbula em formato STEP disponível é possível realizar a importação para um software de CAD. Visando minimizar o número de softwares, foi utilizado novamente o software Rhinoceros 3D, agora como ferramenta de CAD. Desta forma, prosseguiu-se para a fase de modelamento 3D de soluções para o apoio à cirurgia. Nessa fase, foi solicitado ao cirurgião informações a respeito dos procedimentos que poderiam ser aplicados no caso em questão, visando um melhor entendimento dos cuidados necessários no desenvolvimento das soluções. Conforme citado, o planejamento cirúrgico inicial estipulado pelos cirurgiões foi de realizar a remoção do material de osteossíntese prévio e uma condilectomia à direita, através de osteotomias da parte lateral e medial do bloco ósseo existente, utilizando motor e brocas, e cinzel e martelo, respectivamente. Desse modo, foi avaliado e acordado com o cirurgião a possibilidade de desenvolvimento de um gabarito de corte para auxiliar a osteotomia necessária.

A osteotomia envolvida no procedimento cirúrgico, denominada de condilectomia baixa, é realizada por meio da utilização de broca em região de ramo mandibular acima do forame, o qual possibilita a passagem de vasos e nervos, até porção medial do osso, a fim de não danificar as estruturas internas existentes na boca. A finalização da osteotomia ocorre através da aplicação de cinzel e martelo, promovendo a fratura da mandíbula no entalhe realizado durante a utilização da broca. A broca a ser aplicada é uma broca cônica nº 702, que apresenta um diâmetro de 1,6 mm.

Com as informações necessárias a respeito do procedimento cirúrgico e os equipamentos a serem utilizados, foi possível definir junto ao cirurgião a região da osteotomia mais adequada para iniciar o desenvolvimento do gabarito de corte, utilizando o software Rhinoceros para possibilitar a visualização. A Fig. 5 (esq) apresenta a mandíbula em superfície e o plano de corte definido.

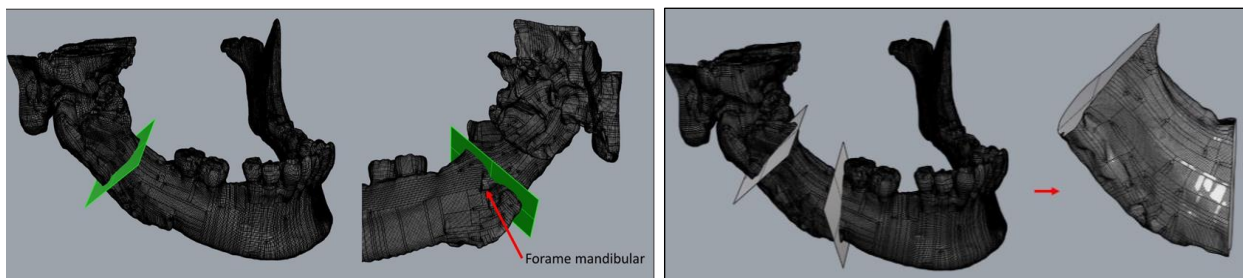


Figura 5. Plano para a condilectomia baixa (esq) Segmentação da região para desenvolvimento do gabarito (dir)

Para iniciar o desenvolvimento do gabarito, tendo o plano da osteotomia definido, optou-se por segmentar a região de interesse da mandíbula para facilitar o do modelamento da solução. Assim, a superfície foi segmentada por dois planos



de suporte (Fig. 5 - dir). Para facilitar o modelamento, optou-se por trabalhar inicialmente com formas geométricas simples, a fim de, posteriormente, realizar a subtração da geometria da mandíbula na região segmentada. As formas geométricas simples iniciais foram um retângulo e uma elipse extrudados e unidos: o retângulo destinado para realizar a função de guia do corte e a elipse como área de contato adicional para promover um melhor encaixe do gabarito. Assim, por meio de operações booleanas foi subtraída a região segmentada da mandíbula das formas geométricas iniciais.

Conforme definido pelo cirurgião, para que a broca não danifique as estruturas internas existentes na boca, durante sua aplicação, em um procedimento manual é padrão buscar a permanência de uma camada óssea de 2 a 3 mm na região da osteotomia, a qual será fraturada posteriormente com a utilização de cinzel e martelo. Dessa forma, foi acordado com o cirurgião em realizar uma superfície limitadora no gabarito, mantendo a ponta da broca a uma distância de aproximadamente 2,5 mm da superfície interna da mandíbula, a fim de obter controle sobre essa profundidade de corte e evitar possíveis complicações durante a cirurgia. Para isso foi criado um modelo simplificado da broca, considerando um comprimento de 19 mm, a fim de simular a posição da mesma durante o corte. Utilizando o plano da osteotomia, posicionou-se a broca em uma região determinada que atingisse aproximadamente 2,5 mm da superfície interna da seção. Com a posição da broca definida, para se obter a superfície limitadora da profundidade do corte, realizou-se uma cópia de parte dessa superfície segmentada da mandíbula e posicionou-se na extremidade da broca.

Para possibilitar a passagem da broca, foi considerado um oblongo com diâmetro de 2 mm, com comprimento suficiente para viabilizar a osteotomia por toda a linha de corte. Simplificações na dimensão do gabarito também foram realizadas a fim de evitar um consumo desnecessário de material durante fabricação. A Fig. 6 apresenta com maiores detalhes a mandíbula e o gabarito desenvolvido para o procedimento de condilectomia baixa

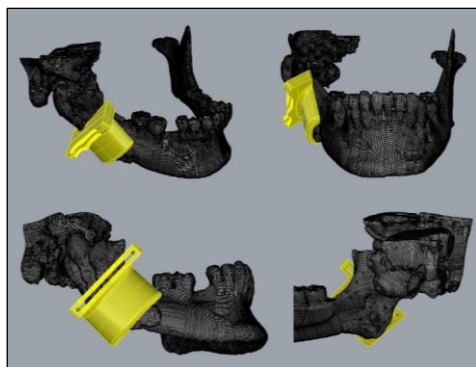


Figura 6. Representações do posicionamento do gabarito junto a mandíbula

A fim de realizar a validação das soluções desenvolvidas o conjunto mandíbula (área de interesse) e gabarito foram impressos respectivamente nas impressoras ZCorp 450 e Sethi3D-BB. O encaixe entre o gabarito e a mandíbula foi testado fisicamente, através do posicionamento do gabarito sobre a superfície ao qual o mesmo foi projetado para ser utilizado, sendo validada a solução encontrada (Fig. 7). Contudo, um aspecto a ser salientado está associado com as tolerâncias inerentes as tecnologias do tipo FFF, necessitando uma suavização, ou até mesmo eliminação, das arestas de interface com a placa metálica, uma vez que impediram o contato total com a região segmentada da mandíbula, em função de negativos.



Figura 7. Teste de encaixe entre gabarito e mandíbula



4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um método para o apoio ao planejamento de cirurgias de reconstrução buco-maxilo-facial com o auxílio de tecnologias tridimensionais, dentro do Laboratório de Prototipagem da UCS. Para isso, um caso foi selecionado para o desenvolvimento, aplicação e avaliação da proposta. O método foi dividido em três etapas principais: a obtenção do caso clínico e geração dos biomodelos em formato STL; a transformação do formato STL em formato editável por ferramentas CAD; e aplicação das técnicas de CAD no estudo de reconstrução e/ou modelagem 3D de soluções, juntamente com a fabricação por prototipagem rápida e aplicação dos biomodelos no apoio à cirurgia. Por meio da impressão da mandíbula e do gabarito desenvolvido, um teste físico de encaixe foi realizado e validado, uma vez que foi possível garantir a posição do gabarito conforme a superfície óssea da região. É importante ressaltar que, durante a análise das peças físicas, foi percebido que as arestas de interface com a placa metálica acabaram impedindo o contato total com a região segmentada da mandíbula. Desse modo certas suavizações e eliminações dessas arestas do modelo deveriam ter sido aplicados.

Apesar da aprovação do método e do gabarito desenvolvido neste relato de caso, por se tratar de um estudo piloto e de modo a se obter uma validação adequada, é interessante realizar a aplicação dos softwares e dos métodos propostos em diferentes casos, a fim de aumentar a amostragem e a confiabilidade dos mesmos em diversas situações, pois cada caso é único, apresentando particularidades e desafios.

5. REFERÊNCIAS

- BOSC, R. et al. Mandibular reconstruction after cancer: an in-house approach to manufacturing cutting guides. **International Journal Of Oral And Maxillofacial Surgery**, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 24-31, jan. 2017.
- BRENNAN, P.A.; SCHLIEPHAKE, H.; GHALI, G. E.; CASCARINI, L. **Maxillofacial surgery**. 3. ed. [S. L.]: Churchill Livingstone, 2017. 1698 p.
- CARVALHO, M. F. et al. Princípios de atendimento hospitalar em cirurgia buco-maxilo-facial. **Revista De Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial**, Camaragibe, v. 10, n. 4, p. 79-84, dez. 2010.
- COSTA, C.A. et al. Transformação geométrica de superfícies digitalizadas para formatos editáveis em sistemas CAD. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, **Anais ...**, Vitória. 2020. p. 579-583.
- DATASUS. Disponível em: < <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nruf.def>>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- FAVERANI, L. P. et al. Técnicas cirúrgicas para a enxertia óssea dos maxilares - revisão da literatura. **Revista Do Colégio Brasileiro De Cirurgiões**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 61-67, jan. 2014.
- FOLEY, B.D.; THAYER, W. P.; HONEYBROOK, A.; MCKENNA, S.; PRESS, S. Mandibular reconstruction using computer-aided design and computer-aided manufacturing: an analysis of surgical results. **Journal Of Oral And Maxillofacial Surgery**, [S.L.], v. 71, n. 2, p. e111-e119, fev. 2013.
- HATAMLEH, M.; BHAMRAH, G.; RYBA, F.; MACK, G.; HUPPA, C. Simultaneous computer-aided design/computer-aided manufacture bimaxillary orthognathic surgery and mandibular reconstruction using selective-laser sintered titanium implant. **Journal of Craniofacial Surgery**, [S.L.], v. 27, n. 7, p. 1810-1814, out. 2016.
- JARDINI, A. et al. Improvement in Cranioplasty: Advanced Prosthesis Biomanufacturing. The Second CIRP Conference on Biomanufacturing. **Procedia CIRP** 49. 203 – 208. 2016
- SILVA, M. E. H.; SISSI, S. A. A.; MUSTAFÁ, A. M. M. O especialista em cirurgia buco maxilo facial e sua formação: desafios e perspectivas no desenvolvimento de suas competências. **JNT - Facit Business And Techonology Journal**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 109-125, dez. 2018.
- VIEIRA, W. M.; SCHNEIDER, L. P.; SIQUEIRA, O. V. Correção cirúrgica secundária do complexo zigomático-orbitário com auxílio de biomodelo de prototipagem rápida. **Revista Brasileira De Cirurgia Craniofacial**, Taubaté, v. 15, n. 3, p. 152-154, set. 2012.
- YACUBIAN-FERNANDES, A.; et al. Prototipagem como forma alternativa para realização de cranioplastia com metilmetacrilato. **Arquivos De Neuropsiquiatria**, Bauru, v. 62, n. 3, p. 865-868, abr. 2004.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.