

Obtenção de placas de reconstrução para terapia de defeito de continuidade mandibular utilizando a tecnologia da manufatura aditiva

Andrea Del Pilar Fabra Rivera, Francys Marcel Rodriguez Jimenez, Paulo Eustaquio de Faria, Amalia Moreno, Juan Carlos Campos Rubio.

Resumo: Resumo. Este projeto visava a concepção e obtenção de uma placa de reconstrução mandibular para a área odontológica, utilizando a tecnologia de digitalização 3d associada ao uso de fabricação aditiva. esses modelos são elaborados a partir de tomografias médicas computadorizadas, que permitem que o modelo se adapte à necessidade apresentada; levando em consideração fatores como biocompatibilidade, funcionalidade e duração. este tipo de técnica fornece diferentes alternativas para melhorar o processo de planejamento cirúrgico, porque é apresentado como uma ferramenta muito útil ao realizar a projeção da cirurgia e dar uma ideia mais clara ao paciente do processo que será realizado e os resultados que se pretende obter, além disso, com o uso dos elementos finitos é possível caracterizar a prótese mandibular mediante os análises de fadiga e deformação estabelecendo diferentes fatores determinantes no momento da realização da cirurgia para implantar a prótese.

Palavras-chaves: manufatura aditiva, prótese maxilofacial, análise de elementos finitos, reconstrução mandibular.

Obtaining reconstruction plates for mandibular continuity defect therapy using additive manufacturing technology

Abstract: This project aimed at designing and obtaining a mandibular reconstruction plaque for the dental area, using the 3d scanning technology associated with the use of additive manufacturing. these models are elaborated from computerized medical scans, which allow the model to adapt to the presented need; taking into account factors such as biocompatibility, functionality and duration. this type of technique provides different alternatives to improve the surgical planning process because it is presented as a very useful tool in performing the projection of the surgery and give a clearer idea to the patient of the process that will be performed and the results that are desired, in addition, with the use of finite elements, it is possible to characterize the mandibular prosthesis through fatigue and deformation analyzes, establishing different determinant factors at the moment of the surgery to implant the prosthesis.

Keywords: additive manufacture, maxillofacial prosthesis, finite element analysis, mandibular reconstruction.

1. Introdução

As próteses dentárias são apresentadas como alternativas para dar uma solução estética ou funcional às mudanças geradas nas mucosas, nos ossos da cavidade oral e no aparecimento de lesões simples que podem se tornar malignas e causar problemas na saúde das pessoas. No entanto, essas próteses, quando já têm uma vida muito longa, são desajustadas ou projetadas com erros, causando grandes danos ao estado da cavidade oral (GARCIA et al, 2010). Na figura 1 pode ser observada exemplos de tipos de protese dentaria.



Figura 1. Exemplo de prótese dentária

Por outro lado, o Brasil tem um grande número de pessoas que apresentam edentualismo parcial ou total, gerando a necessidade de fazer próteses dentárias em larga escala que contribuam para a reabilitação funcional e estética dos pacientes, levando em conta que essas próteses devem ser elaboradas adequadamente. para evitar a intervenção no sistema estomatognático (MATOS et al, 2011). Nas cirurgias mandibulares são apresentados diversos problemas no momento de realizar a intervenção cirúrgica, devido a que não tem uma visualização das principais estruturas maxilares como as ósseas, tecidos e dentição do paciente, gerando lesões graves nestas estruturas, por tanto, é importante na implantodontia estar focadas no desenvolvimento de procedimentos menos invasivos com menor sangramento no pós-operatório, menor tempo de intervenção cirúrgica e maiores taxas de cicatrização (BARONE et al, 2014).

Igualmente a planificação cirúrgica oral maxilofacial, deve ser executada pela utilização de um guia cirúrgico pelo computador e a tecnologia de fabricação aditiva, fornecendo placas de reconstrução específica para o paciente, porém, o design das placas personalizadas, se deve considerar diferentes fatores, tais como, as respostas biomecânicas as quais podem variar substancialmente de acordo ao tamanho e a geometria do defeito, além disso, é de importância vital que a prótese mantém a anatomia exata do paciente, por outra parte, o análise pelos elementos finitos fornecem a caracterização das próteses, determinando a fadiga e a deformação que ela vai suportar e definindo a vida útil da prótese, do mesmo modo estabelecer o tempo para as cirurgias posteriores (NATHANIEL et al, 2013). A prototipagem rápida apresenta diferentes sistemas para a produção de sólidos, com base no método de corte de seções horizontais paralelas de peças representadas em CAD, que consistem na criação do sólido a partir da superposição em camadas horizontais (TORABI et al, 2015). Na figura 2 pode ser observado exemplos de placas mandibulares utilizada na área da odontologia.



Figura 2 - Exemplo de placas mandibulares

A manufatura aditiva esta composta por diversas tecnologias de impressão que fornecem o modelo em 3D necessário para determinar se a placa que foi desenhada com as dimensões e a anatomia real do paciente estabelecendo o processo que será feito e garantir que o resultado final da cirurgia será realizado de forma correta; é por isso, que é utilizada a impressão em 3D para obter os modelos. Existem vários tipos de tecnologia de impressão como a FDM (Modelagem por deposição fundida), SLS (Sinterização Seletiva a Laser), estereolitografia e jato de aglutinante, entre outras tecnologias. Uma das tecnologias mais usadas para a fabricação deste tipo de modelos é a tecnologia de jato de aglutinante, que tem duas formas de funcionamento. O primeiro inicia com a deposição do material aglutinante na resina plástica solidificando as partes onde o aglutinante faz contato. Este processo é feito camada por camada até obter o modelo em 3D. A segunda forma o material depositado pelo jato é a tinta e realiza o mesmo processo do primeiro, tendo várias cabeças de impressão gerando um objeto composto por diferentes materiais (GAZETTA, 2017). Na figura 3 pode ser observado o processo feito pela impressão de jato de aglutinante.

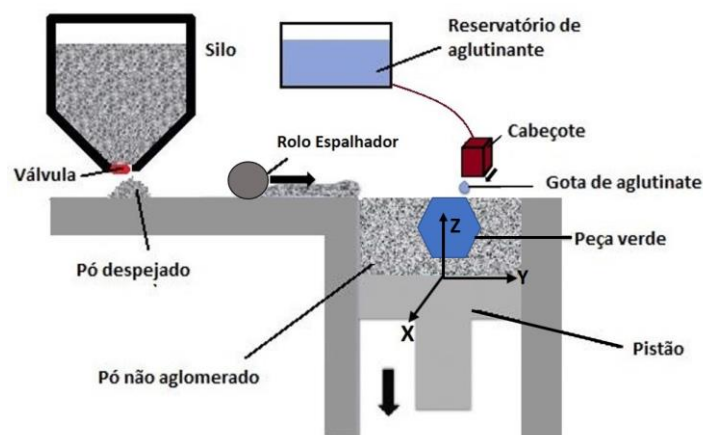


Figura 3 - Esquema do processo da tecnologia de Jato de Aglutinante

2. Materiais e métodos

As próteses para a área odontológica estão baseadas por três elementos que são a parte anatômica, funcional e estética; os quais são considerados para realizar o design dos protótipos das próteses que serão utilizadas para obter modelos, tais como, guias cirúrgicos,

modelo da mandíbula real do paciente, ou para determinar a metodologia que será estabelecida para o planejamento cirúrgico. Adicionalmente, o modelo virtual do maxilar facial que inclui maxilares, dentição e tecidos moles orais, juntamente com a posição relativa dos vasos e nervos vasculares, são partes que devem ser consideradas no design. Este projeto consistirá no desenho de próteses para a área odontológica, com base em tomografias médicas computadorizadas, que permitirão a geração de modelos 3D das áreas de estudo, a fim de determinar as áreas afetadas e apresentar possíveis soluções que contribuam para a melhoria desta área de conhecimento, criando próteses que atendam às características e propriedades necessárias para a sua funcionalidade (JEONG et al, 2016).

A metodologia que vai ser desenvolvida para a obtenção do modelo da prótese mandibular está constituída pelas etapas de processamento da tomografia medica computadorizada no formato DICOM, sendo obtida a imagem 3D da mandíbula real do paciente mediante o software InVesalius®. Posteriormente, a prótese será elaborada no software Rhinoceros®, utilizando a anatomia real obtida para garantir as dimensões e geometrias exatas. Em seguida, os modelos da prótese e da mandíbula real são exportados para o software Inventor® para executar a análise dos elementos finitos, para determinar os valores de fadiga e deformação, igualmente caracterizar a prótese e conhecer o comportamento da mandíbula real. Finalmente, os protótipos são obtidos mediante a impressão 3D para efetuar os testes e correções necessárias para sua utilização.

2.1 Obtenção do modelo maxilofacial virtual em 3D

A obtenção do modelo virtual começa com o processamento da tomografia medica computadorizada no formato DICOM (Digital Imaging Communications in Medicine), o qual é um protocolo padrão de comunicação entre sistemas de informação e, ao mesmo tempo, um formato de armazenamento de imagens médicas. As imagens devem ser processadas em um software médico que gera reconstruções virtuais de estruturas no corpo humano baseado em imagens bidimensionais.

O Invesalius® usa a escala de Hounsfield para segmentar a área de interesse; esta escala define os níveis de cinza da tomografia medica computadorizada, determinando os tons mais claros como os tecidos densos, como os ossos e os tons escuros como os tecidos menos densos, como a pele. Os valores da escala de Hounsfield, estão definidos pela atenuação da agua de acordo com a pressão e temperatura sendo (zero) unidades de Hounsfield (HU) e radio densidade do ar com uma escala de -1000 HU; finalmente, a absorção do osso compacto na escala de 1000 HU (BOSCH et al, 2017). Na figura 4 pode ser visualizado o processo mencionado anteriormente. Neste estudo estabeleceu-se o limiar osso, selecionando manualmente camada por camada a parte óssea da mandíbula a fim de gerar uma superfície em 3D composta por uma malha de triângulos que permite visualizar a mandíbula real para executar a respectiva análise por elementos finitos.

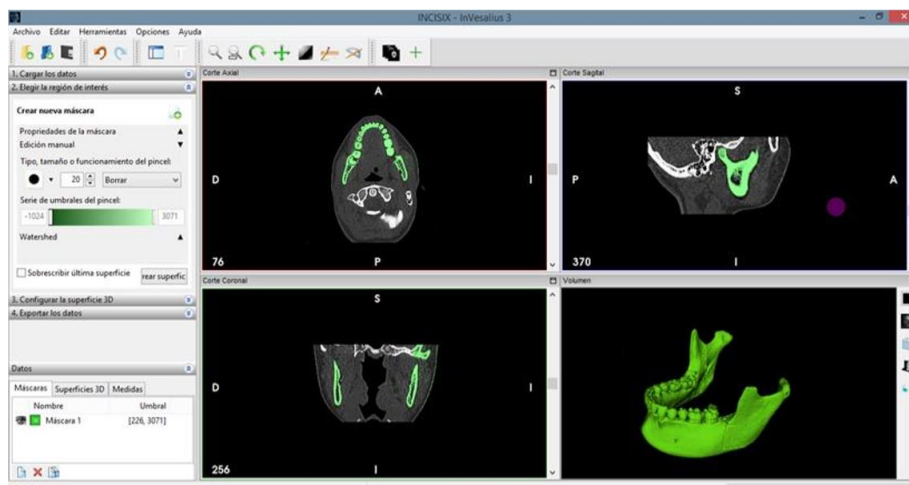


Figura 4 - Processamento e obtenção da mandíbula virtual no software Invesalius.

2.2 Modificações no software Meshmixer®

O software Meshmixer® funciona baseado em malhas triangulares compostas de três tipos de elementos como as vértices, arestas e triângulos. O mapeamento correlaciona as coordenadas em 2D com cada vértice da malha, realizando um mapeamento nas texturas encontradas em uma imagem 2D em uma superfície 3D. O software Meshmixer® permite executar correções na geometria, a fim, de garantir que o design não apresente erros na hora de ser impresso ou quando ele vai ser submetido a análises mecânicas; este processo é necessário, devido a que a qualidade do modelo em 3D, depende diretamente da qualidade e do processamento da tomografia computadorizada.

Igualmente o software Meshmixer® permite determinar o refinamento da malha gerada no modelo 3D obtido da tomografia medica computadorizada, a fim, de melhorar a qualidade do design e da mesma forma proporcionar os nodos e elementos necessários para obter nas simulações mecânicas resultados que possam ser comparados com análises reais e obter diversas aplicações no campo da odontologia. Na figura 5 observa-se o modelo 3D da mandíbula no software Meshmixer®.

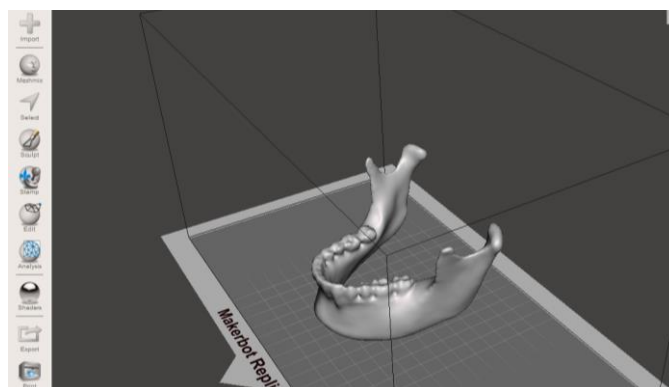


Figura 5 - Mandíbula no software Meshmixer

2.3 Obtenção de placas de reconstrução personalizadas para terapia de defeito de continuidade mandibular.

A placa de reconstrução foi elaborada baseada na anatomia real da mandíbula conservando as dimensões reais sem gerar alterações na placa de reconstrução na hora de realizar o modelo da prótese (NATHANIEL et al, 2013). Este modelo de próteses de placa de reconstrução foi exportado ao software Rhinoceros® onde foi projetada utilizando a opção de pontos de controle seguindo a sequência da anatomia mandibular. Seguidamente, foram obtidas as curvas necessárias para reproduzir a placa com uma largura de 2cm e um comprimento total de 9,5cm, sendo o comprimento da mandíbula processada. Além disso, foram projetados e planejado a ubiquação dos parafusos na placa de reconstrução e a mandíbula, determinando o ângulo e a distância entre cada um dos parafusos, a fim de otimizar o tempo e processo de cirurgia. Na figura 6 observa-se a placa de reconstrução junto com a localização na mandíbula e os parafusos.



Figura 6 - Placa de reconstrução, a localização na mandíbula e parafuso

2.4 Análise de elementos finitos da placa de reconstrução

A próteses da placa de reconstrução mandibular foi exportada ao software Inventor® para executar o analises de cargas estática para determinar a carga que a placa de reconstrução pode suportar antes de sofrer uma deformação mínima (URETURK et al, 2018). Para iniciar o analises é estabelecido o material do design. Neste projeto foi determinado o material de titânio, o qual, possui as propriedades e características mecânica necessárias suportando as cargas às quais será submetido, portanto, é o material mais utilizado na indústria de próteses. Em seguida, é determinada a malha de acordo aos parâmetros fornecidos pelo software Inventor® para a prótese da placa de reconstrução obtida estabelecendo o tamanho dos elementos, os quais podem ser observados na tabela 1.

Configuração de malha	
Tamanho médio do elemento (fração do diâmetro do modelo)	0,1
Fator de modificação	1,5
Ângulo máximo de rotação	60 gr
Criar elementos de malha curvada	Sim

Tabela 1 - Configuração de malha

A próxima operação é estabelecer os fechos do modelo que foram determinados na área onde estão localizados os parafusos designando uma geometria fixa com o objetivo de simular a fixação da placa de reconstrução com a mandíbula, igualmente, a carga e a orientação foi

definida de acordo com a pressão máxima alcançada pela mordida de um ser humano que está estipulada em $0,77kg/mm^2$ e nos movimentos que a mandíbula faz na hora de comer. Adicionalmente, na execução da análise foram consideradas as propriedades mecânicas dos ossos principalmente o valor do Módulo de Young para o osso cortical, longitudinal e transversal e a resistência à compressão. Estas considerações devem ser suportadas pela placa de reconstrução. Na figura 7 observa-se os parâmetros estabelecidos no software Inventor®.

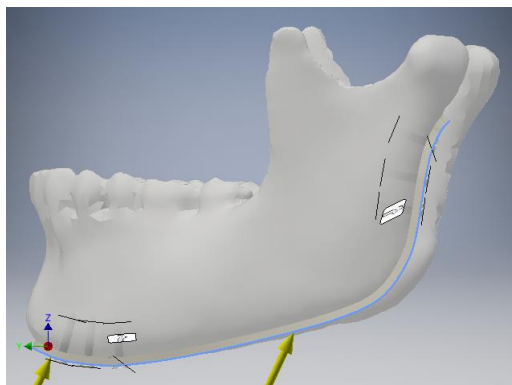


Figura 7 - Distribuição da pressão na placa de reconstrução

3.Resultados

O resumo dos resultados do análise de cargas estáticas executado no software Iventor®, de acordo com os parâmetros descritos acima, pode ser observado na tabela 2, onde são mostrados os valores máximos e mínimos das magnitudes como o volume, massa, tensão de von mises e o deslocamento no modelo da prótese da placa de reconstrução com a fixação na mandíbula calculados pelo software.

	Mínimo	Máximo
Volume	2951,5 mm ³	
Massa	13,3 gr	
Tensão de von mises	0 Mpa	107,7 Mpa
Pressão de contato	0 Mpa	857,149 Mpa
Deslocamento	0mm	0,1667mm

Tabela 2 - Valores obtidos do análises estático

Na figura 8, pode ser visualizada a localização da carga exercida por toda a geometria da placa de reconstrução mandibular mostrando as maiores e menores concentrações de tensão sendo de 107,7 Mpa.

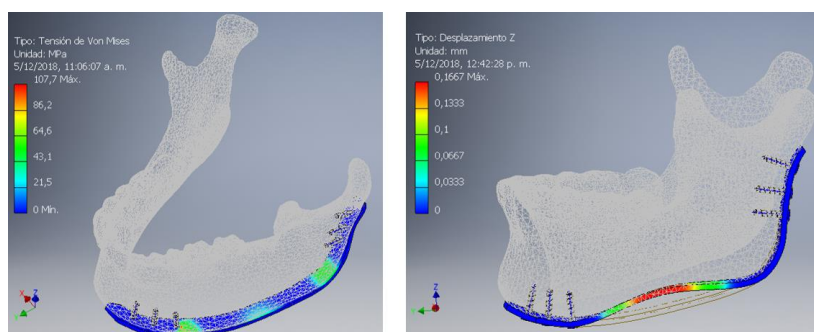


Figura 8 - Resultado do análise

3. Conclusões

A manufatura aditiva é uma alternativa para resolver os diversos problemas que surgem na área da odontologia permitindo estudos na área da mandíbula determinando seu comportamento para melhorar os processos de reabilitação dos pacientes. O desenho da placa de reconstrução mandibular que foi desenvolvido pode ser modificado de acordo com o paciente que apresenta algum tipo de lesão nessa área, pois permite fazer as modificações necessárias em termos de medidas e características que podem se adaptar ao paciente.

Com o modelo da mandíbula que foi obtido a partir das tomografias médicas computadorizadas é possível realizar o planejamento cirúrgico visualizando as estruturas maxilofacial e as dimensões permitindo detalhar eficazmente os problemas apresentados. A análise estática que foi executado mostra que a placa de reconstrução projetada e o material selecionado (titânio) podem suportar grandes cargas sem sofrer deformações significativas, sendo um modelo que poderia ser usado.

Para estudos posteriores serão estabelecidas as propriedades mecânicas da estrutura óssea maxilofacial inferior a fim de executar um análise que permita determinar o comportamento dos parafusos que conformam a placa de reconstrução mandibular no osso quando é submetida a esforços de fadiga e cargas de pressão.

4. Agradecimentos

Os autores agradecem as seguintes instituições: Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos suportes técnicos e financeiros.

5. Referências

NATHANIEL et al. (2013). Finite element analysis of customized reconstruction plates for mandibular continuity defect therapy. *Journal of Biomechanics*, Nathaniel.

- BARONE et al. (2014). Interactive design of dental implant placements through CAD-CAM technologies: from 3D imaging to additive manufacturing. *Int J Interact Des Manuf*, 106-117.
- BOSCH et al. (2017). OBTENCIÓN DE MODELOS CAD PERSONALIZADOS DE LAS SUPERFICIES CORTICAL Y TRABECULAR DE UN FÉMUR HUMANO A PARTIR DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 45-51.
- GARCIA et al. (2010). Prótesis dentales y lesiones mucosa en el adulto mayor. *Revista Electronica de las Ciencias Medicas en Cienfuegos*, 37.
- GAZETTA. (2017). FABRICAÇÃO ADITIVA: TECNOLOGIAS E PARÂMETROS. *Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM*, 417 - 432.
- JEONG et al. (2016). Accuracy of complete-arch model using an intraoral video scanner: An in vitro study. *THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY*, 755-759.
- MATOS et al. (2011). Prevalencia de lesiones bucales asociadas al uso de prótesis. *Revista Cubana de Estomatol*, 268.
- TORABI et al. (2015). Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. *Journal of Dentistry*, 1-9.
- URETURK et al. (2018). Does fixation method affects temporomandibular joints after mandibular advancement. *Jornal of Cranio-Maxillo-Facial surgery*, 1-9.