

Reconstrução digital e prototipagem rápida visando a área médica

Fayson Marques Martins (Universidade Federal de Minas Gerais) faysonmarques@gmail.com

Breno Ferreira Lizardo (Universidade Federal de Minas Gerais) bflizardo@gmail.com

Andrea Del Pilar Fabra Rivera (Universidade Francisco De Paula Santander) andreadelpilarfr@ufps.edu.co

Francys Marcel Rodriguez Jimenez (Universidade Francisco De Paula Santander) francysmarcelrj@ufps.edu.co

Juan Carlos Campos Rubio (Universidade Federal de Minas Gerais) juan@ufmg.br

Resumo:

Atualmente, a impressão tridimensional é uma realidade em diversos campos, e a impressão de componentes para área médica surge como um passo lógico e inevitável deste tipo de tecnologia. Isto pode ser atribuído a natureza única da fisiologia de cada paciente e os diversos problemas que continuamente se apresentam em função de traumas ou malformações que possam acometer a estes indivíduos. Entretanto, tanto o processo de aquisição e tratamento das imagens tridimensionais como o processo de prototipagem rápida, são altamente trabalhosos, demorados, estando seus resultados intimamente ligados à experiência dos operadores de hardware e software. Ainda são poucos e restritos os estudos que se aprofundam nas diversas variáveis presentes em um processo impressão tridimensional visando a área médica, aumentando assim o grau de importância de novas iniciativas por parte da comunidade acadêmica.

Palavras chave: Imagens Médicas, Manufatura Aditiva, Reconstrução digital, Prototipagem Rápida.

Digital Reconstruction and Rapid Prototyping Aiming Medical Applications

Abstract

Nowadays, tridimensional printing is a reality in several areas and the printing of components for the medical area arises as a logical and unavoidable step of this kind of technology. This fact is due to the unique nature of the physiology of each patient and many problems that continuously present themselves due to traumas or malformations that can undertake these individuals. However, the acquisition and manipulation process of the tridimensional images, as well as the Rapid Prototyping process are labor-intensive and time-consuming, with its results attached to the experience of the hardware and software operators. Studies related to rapid prototyping aiming medical applications are still restricted and limited in terms of number and depth, and this rises the degree of importance of new initiatives from the researcher community.

Key-words: Medical Images, Additive Manufacturing, Digital Reconstruction, Rapid Prototyping.

1. Introdução

Com o aumento da expectativa de vida da população, a substituição de partes desgastadas ou não mais funcionais do corpo humano é um dos maiores desafios da medicina atual. No Brasil, além dos desafios relativos ao envelhecimento da população, há também alto número de acidentes associados ao trabalho, trânsito e violência doméstica. Esses acidentes representam um elevado custo social. (SILVA et al, 2006).

Atualmente, a impressão tridimensional é uma realidade em diversos campos, e a impressão de componentes para área médica surge como um passo lógico e inevitável deste tipo de tecnologia. Isto pode ser atribuído a natureza única da fisiologia de cada paciente e os diversos problemas que continuamente se apresentam em função de traumas ou malformações que possam acometer a estes indivíduos. A Figura 1 apresenta exemplos de prótese desenvolvidas para mandíbulas, em função de incidência de doença e trauma.

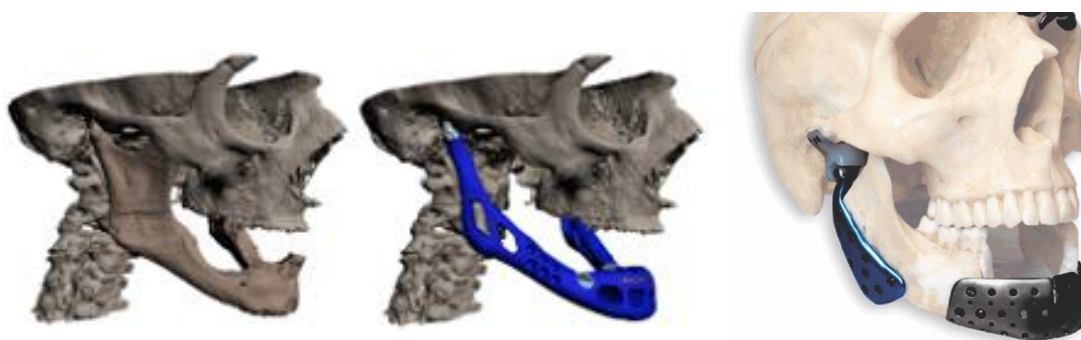


Figura 1- Exemplo de prótese desenvolvidas para mandíbulas

O uso de imagens bidimensionais para diagnóstico médico, tais como as obtidas por tomografias computadorizadas e ressonância magnética, trabalhadas por meio de ferramentas computacionais adequadas, poderão ser usadas para a obtenção do modelo 3D do formato do paciente. Isto permitirá criar uma ferramenta para auxílio aos profissionais da área médica, não somente na produção por impressão 3D ou PR de modelos de prótese, mas também, é possível a elaboração de implantes, próteses e guias cirúrgicas personalizadas.

Também podem ser gerados moldes para a conformação de próteses, de modo que o cirurgião aplique materiais biocompatíveis para a geração da prótese no tamanho e formato exatos do paciente. Com estes modelos é possível planejar e simular, com antecedência, procedimentos cirúrgicos, o que representa redução no tempo e custos de cirurgia e, consequentemente, na exposição do paciente a riscos e infecções. Por outro lado, pode-se afirmar que um resultado estético mais adequado poderá ser previsto para os pacientes. Isto é extremamente importante para a recuperação de pacientes portadores de graves anomalias craniofaciais, permitindo que estes sejam reintegrados à convivência apresentando melhora psicossocial, com recuperação da autoconfiança e rápida ressocialização.

Neste sentido, a criação de um ambiente integrado de fabricação de modelos tridimensionais de estruturas ósseas, utilizando diversas ferramentas computacionais CAD/CAM/CAE, que associadas ao uso de técnicas de prototipagem rápida (PR) e digitalização 3D, permite a produção de modelos e moldes destas peças. Desta forma, poderá se reduzir o tempo tanto da cirurgia quanto da produção de modelos de próteses, permitindo o auxílio aos profissionais da área médica.

Também podem ser gerados moldes para a conformação de próteses, de modo que o cirurgião

aplique materiais biocompatíveis para a geração da prótese no tamanho e formato exatos do paciente. Com estes modelos é possível planejar e simular, com antecedência, procedimentos cirúrgicos, o que representa redução no tempo e custos de cirurgia e, conseqüentemente, na exposição do paciente a riscos e infecções. Por outro lado, pode-se afirmar que um resultado estético mais adequado poderá ser previsto para os pacientes. Isto é extremamente importante para a recuperação de pacientes portadores de graves anomalias crânio-faciais, permitindo que estes sejam reintegrados a convívio apresentando melhora psicossocial, com recuperação da autoconfiança e rápida ressocialização.

O entendimento dos processos relacionados, desde a aquisição e tratamento das imagens tridimensionais até o processo de prototipagem rápida é fundamental para que os resultados dos processos sejam melhorado, influenciando diretamente na vida de inúmeros pacientes que podem ser beneficiados.

2. Revisão Bibliográfica

Entende-se como Engenharia Reversa (RE), o processo de obtenção de um modelo geométrico CAD, a partir de pontos tridimensionais adquiridos na digitalização de objetos. Os processos de RE são muito usados em várias aplicações diferentes, como processos de manufatura, design industrial, design e reprodução de joias, realização de inspeção de produtos, fazendo um comparativo entre a geometria do objeto que foi modelado e o que foi produzido e digitalizado, entre outros. Engenharia Reversa é particularmente útil quando não estão disponíveis modelos CAD de peças de geometria complexa. A modelagem em sistemas CAD é trabalhosa e onerosa, intimamente ligada à experiência do operador do software. Para peças de geometria complexa a modelagem é ainda mais demorada. Lançando mão da RE, é possível capturar a geometria de um objeto de forma digital, e exportá-la para máquinas que possam realizar sua fabricação. (RAJA, FERNANDES, 2008)

Segundo Raja e Fernandes (2008), os processos de RE, em geral, seguem a metodologia descrita a seguir:

- Aquisição de pontos: A geometria do objeto é capturada de forma discreta, e os pontos obtidos salvos em formato adequado.
- Processamento de dados: Essa fase envolve a importação dos dados obtidos na fase anterior, redução de possíveis ruídos e do número de pontos. Essa tarefa é conseguida através do uso de filtros específicos para cada aplicação.
- Desenvolvimento do modelo geométrico: Depois de processada a nuvem de pontos, é necessário gerar um modelo tridimensional a partir desses pontos. Normalmente são utilizados algoritmos de preenchimento complexos, que fazem a ligação dos diversos pontos formando a geometria final do objeto, que é posteriormente exportada no formato desejado.

Existem dois principais métodos para os processos de aquisição dos dados geométricos de um objeto: os por contato e os sem contato. Nos sistemas por contato as informações sobre uma superfície são obtidas apalpando pontos discretos com o auxílio de sondas adequadas, que são ligadas aos equipamentos projetados para realizar a digitalização. Os pontos são obtidos, portanto pela coordenada do centro da sonda quando essa entra em contato com o objeto. Para realizar a digitalização de objetos pelo método com contato, são utilizados braços mecânicos, máquinas de medição por coordenadas e máquinas CNC (RAJA, FERNANDES, 2008).

Já nos sistemas sem contato, as medidas das coordenadas dos pontos são obtidas por meio de sistemas que usam propriedades emissão e/ou absorção de energia, não havendo o contato

físico propriamente dito. Os métodos podem ser refletivos ou transmissivos. Nos métodos refletivos, energia é direcionada ao objeto, refletida e capturada por um sensor, podendo ser baseados na reflexão de luz ou de som. Nos métodos transmissivos, a energia é direcionada ao objeto e o sensor posicionado na região posterior, sendo a análise baseada na forma como o objeto transmite ou absorve a energia aplicada. Os principais exemplos de métodos transmissivos são a Tomografia computadorizada (CT) e a Ressonância Magnética (MRI) (RAJA, FERNANDES, 2008). A Figura 2 ilustra a geração das imagens médicas pela tomografia computadorizada e a visualização e manipulação no software InVesalius.

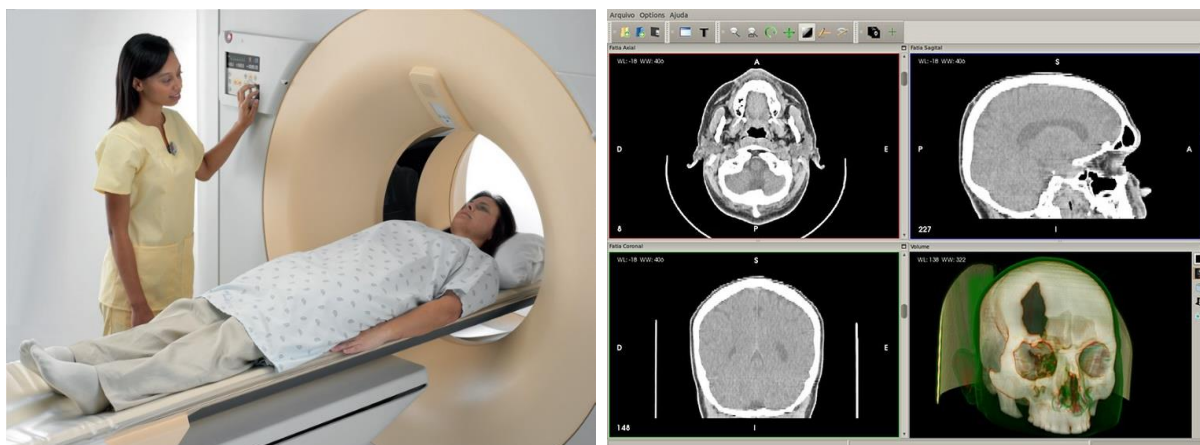


Figura 2 - Exame de tomografia e tela do software InVesalius com imagens 2D e 3D

Devido à grande diversidade de métodos de RE, há também uma grande variedade de softwares disponíveis no mercado, específicos para cada método. Em um mesmo processo de RE, em suas diversas fases, vários softwares podem ser utilizados. O nível de especialização dos softwares possibilita maior desempenho assim como flexibilidade. A maioria dos softwares de modelagem CAD não foi desenvolvida para lidar com nuvens de pontos de alta densidade, fazendo-se necessários softwares específicos para a manipulação dos modelos criados. É importante ressaltar que a capacidade computacional necessária para processar as imagens cresce com a quantidade de pontos utilizados (KAUFMAN et al, 2015).

Prototipagem Rápida (RP) é um nome genérico dado a uma série de tecnologias baseadas na adição de sucessivas camadas de material para obter a geometria final do objeto desejado. As tecnologias RP têm sido usadas industrialmente desde 1980, e consistem em um método de prototipagem baseado na adição de sucessivas camadas de material até que se obtenha a geometria desejada (PANDLEY, 2005). RP é largamente utilizada na criação de biomodelos e já existem vários exemplos conhecidos e publicados.

Segundo Leite *et al.* (2011), prototipagem rápida é um processo de construção de um modelo físico a partir de um desenho tridimensional, utilizando máquinas especiais dedicadas. Raja e Fernandes (2008) definem RP como uma classe de tecnologias que são usadas para produzir objetos físicos, camada por camada. Os objetos construídos por prototipagem rápida são o resultado da adição de sucessivas e diferentes camadas de material até que a forma final desejada seja conseguida.

Biomodelos são definidos como modelos provenientes de dados de um paciente específico e utilizados para aplicações médicas. Os dados desses modelos são normalmente capturados através de tomografia computadorizada (CT) ou ressonância magnética (MRI), apesar de

haver outras formas de realizar essa captura como ultrassom, digitalização a laser e outros (GIBSON *et al*, 2006).

A utilização de imagens tridimensionais e biomodelos no auxílio de cirurgias complexas já é uma realidade para o atual cenário da medicina. A reconstrução de imagens tridimensionais a partir de tomografias computadorizadas possibilita que a equipe médica realize o planejamento cirúrgico baseado em um modelo real do paciente. Além disso, os modelos tridimensionais contêm a geometria de possíveis deformidades, permitindo assim que implantes personalizados sejam desenvolvidos (SILVA *et al*, 2006).

Para cirurgias complexas que envolvem traumas na região maxilofacial, que são extremamente complexas, com a visualização e manipulação direta de uma réplica anatômica das estruturas ósseas do paciente, observa-se uma redução do tempo cirúrgico, período do anestesia e risco de infecção, com diminuição dos custos globais do tratamento e melhores resultados (MEURER *et al*, 2008).

Desde o início do século XX a radiologia já era considerada uma especialidade médica. No entanto, a radiografia comum é capaz de produzir apenas imagens bidimensionais. A necessidade geração de imagens tridimensionais resultou no desenvolvimento das tecnologias de tomografia. Métodos matemáticos foram desenvolvidos para a reconstrução de imagens através das várias imagens bidimensionais sobrepostas, e em 1970 surgiu o primeiro aparelho de CT, levando os desenvolvedores a ganhar o Prêmio Nobel de Medicina em 1979 (SANTA BARBARA, 2005).

O princípio de funcionamento da CT é baseado na projeção de uma fina camada de raios-x através de um plano de um objeto em diferentes ângulos e medição da quantidade de radiação que passa através do objeto ao longo de várias linhas de visão. Um mapa de coeficientes de atenuação (mapa de densidades ou imagem de seção transversal) é obtido. A partir da união das várias imagens de seção transversal é possível realizar a reconstrução tridimensional do objeto. A CT é atualmente muito utilizada em aplicações médicas. Entretanto sua utilização foi estendida e adaptada para uma série de processos industriais de modelagem tridimensional (RAJA e FERNANDES, 2008).

O padrão mais utilizado em imagens médicas na atualidade é o DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). Esse padrão contém várias imagens, ou fatias, igualmente espaçadas (AMORIM *et al*, 2011). Cada uma dessas imagens representa uma seção de corte específica do corpo do paciente e as várias tonalidades de cinza representam as diferentes formas com que os tecidos absorvem a radiação. A reconstrução do modelo virtual é feita através da união de várias fatias que compõe o arquivo DICOM, que podem ser então processadas para que áreas de interesse sejam selecionadas. Para a reconstrução dimensional, em teoria, o espaçamento entre as fatias deve ser o menor possível, mas com espaçamentos iguais a 1 mm já se obtém ótimos resultados (MEURER *et al*, 2008).

O Invesalius é um software livre, que permite a reconstrução tridimensional de imagens médicas no formato DICOM e posterior exportação no formato STL, considerado um padrão para as tecnologias de prototipagem rápida. Entretanto, a aquisição e tratamento dessas imagens ainda é um processo demorado e sujeito a falhas. Por este motivo, a qualidade do modelo obtido está diretamente ligada à experiência do operador dos softwares utilizados durante o processo (AMORIM *et al*, 2011).

3. Desenvolvimento

O processo de reconstrução digital e a prototipagem rápida proposta neste trabalho está descrita abaixo e a Figura 3 ilustra a sequência para cada etapa deste trabalho.

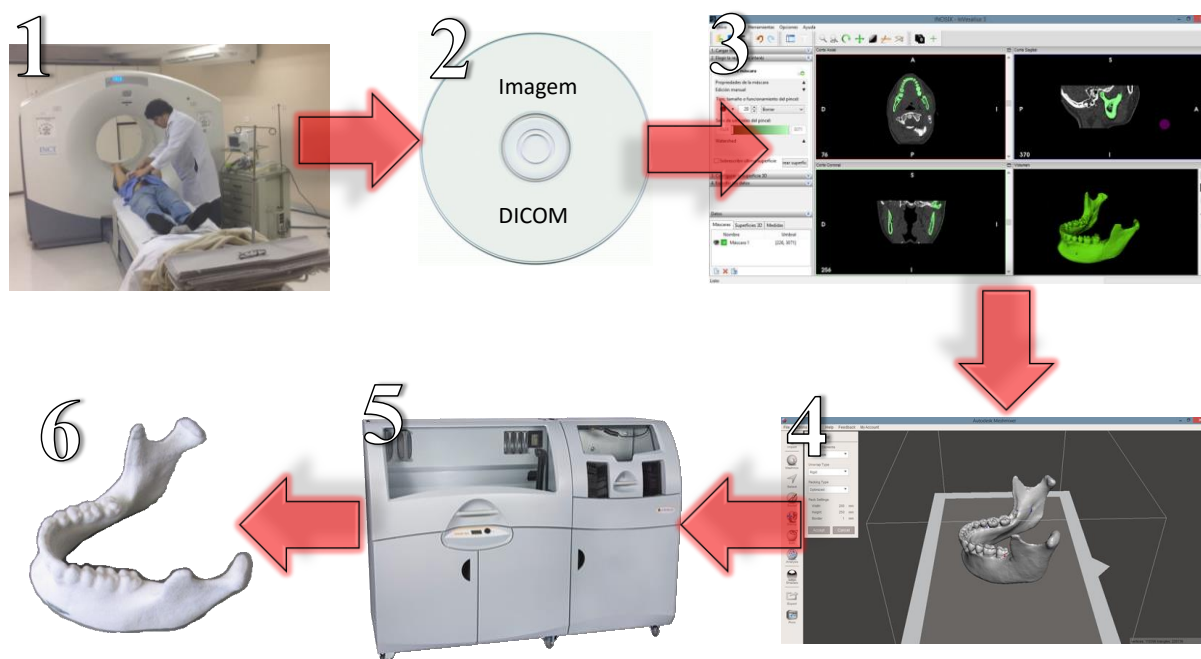


Figura 3 - Sequência do processo de reconstrução digital e prototipagem rápida: 1. Tomografia computadorizada; 2. Imagens DICOM; 3. InVesalius; 4. Meshmixer; 5. Impressão 3D; 6. Protótipo

As imagens utilizadas no estudo são imagens computadorizadas de tomografias médicas de três estruturas ósseas do corpo humano: mandíbula, fêmur e quadril, em formato DICOM (*Digital Imaging Communications in Medicine*), a fim de alcançar o processamento das imagens no software InVesalius 3.0. Este software utiliza-se em áreas da medicina, veterinária, arqueologia e engenharia, com o intuito de ajudar no estabelecimento de um diagnóstico do paciente e, ao mesmo tempo, obter o planejamento da cirurgia, pois permite melhorar a visualização no estudo do caso através da geração de modelos em 3D das estruturas anatômicas dos pacientes. O funcionamento do software depende da quantidade das imagens geradas, a memória RAM disponível, a velocidade do processador e o sistema operacional.

Este software faz uso da escala de Hounsfield para realizar a segmentação por meio da imagem, onde somente os *pixels* cuja intensidade está dentro de um limiar definido pelo usuário. As imagens computadorizadas de tomografias médicas são geradas em escala de cinza e neste cenário, deve-se conhecer que quando se apresentam tons claros, estes fazem referência ao tecido denso, como os ossos, e quando apresentam tons escuros, estes fazem referência aos tecidos menos densos, como a pele e o cérebro.

O InVesalius permite visualizar as imagens 2D em 3 planos: corte axial, corte sagital e corte coronal, também proporciona opções para selecionar o limiar, ou seja, uma seção específica como o tipo de osso, ou tecido correspondente a um adulto ou criança, que se deseja visualizar. As tomografias da mandíbula, fêmur e quadril foram importadas ao software onde se gerou a imagem multiplanar, mantendo todas as fatias. Logo, estabeleceu-se o limiar osso, gerando a máscara número um, desse modo, toda a parte óssea que se encontrava na imagem foi selecionada. O passo seguinte é executar uma edição manual na qual se faz a respectiva seleção da área que se deseja obter, camada por camada, efetuando os três tipos de ações que são permitidas: apagar, desenhar e limiar. Por último, criou-se a superfície em 3D composta por uma malha de triângulos. A área onde é criada a imagem 3D proporciona opções de visualização de certas estruturas da superfície criada, por exemplo, pode-se selecionar entre os

diferentes tipos de brilho, contraste, ossos, vias aéreas, vascular, pele, entre outros, de acordo com a necessidade do caso de estudo. Este processo foi implementado para as três estruturas ósseas.

A técnica utilizada para a criação da superfície em 3D é o algoritmo *marching cubes*. Este é baseado na transformação de *voxels* das imagens que se agrupam de forma vertical e segmentam uma malha de polígonos simples, como são os triângulos. Para modificar a superfície gerada, podem-se utilizar as opções avançadas que estão disponíveis, como: separar todas as superfícies de desconexão, selecionar a superfície maior, e por último, escolher as regiões de interesse (RIOJA CALVO, 2015). Todo processo necessário para reconstrução digital no software InVesalius está ilustrado na Figura 4.

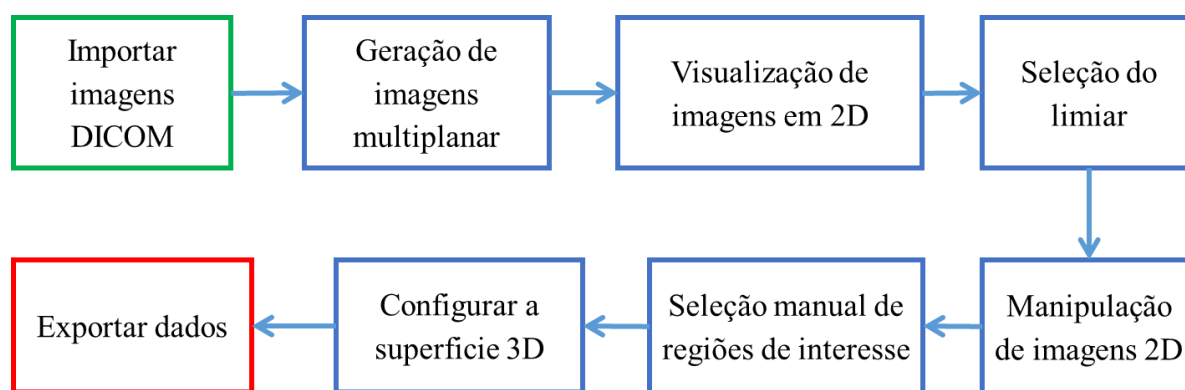


Figura 4 - Diagrama em blocos do processo de reconstrução digital no software InVesalius

A qualidade da imagem em formato DICOM interfere diretamente na exatidão e na precisão da obtenção do modelo 3D. Em relação ao anterior, as tomografias da mandíbula, fêmur e o quadril apresentaram imperfeições na resolução da imagem, impedindo a possibilidade de criar uma superfície adequada. As superfícies geradas em 3D, foram igualmente exportadas ao software Meshmixer, o qual permitiu efetuar ajustes que as superfícies requeriam. Da mesma forma, foi possível realizar medições das estruturas ósseas. O software Meshmixer é uma ferramenta de interface simples que se baseia na criação e modificação de objetos em 3D e permite a possibilidade de realizar correções de erros ou modificar objetos que sejam importados ao software.

Após a etapa de correção no modelo 3D os arquivos foram importados no software ZPrint. Este software faz a interface com a impressora 3D ZPrinter-650, possibilitando configurar os parâmetros e dar início ao processo de prototipagem. O software é compatível com diversos formatos e aplicações, e é capaz de importar mais de um objeto 3D e posicioná-los lado a lado para otimizar o uso da máquina na etapa de impressão. Também permite visualização prévia da área de impressão e calcular uma estimativa do tempo de impressão com os parâmetros selecionados. O posicionamento do mandíbula, fêmur e quadril na área de impressão pode ser vista na Figura 5. Os protótipos foram impressos na impressora ZPrinter-650 (pó: ZP150/ ligante: ZB61) com espessura da camada definida para 0,125mm, e o tempo necessário para a impressão foi de aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

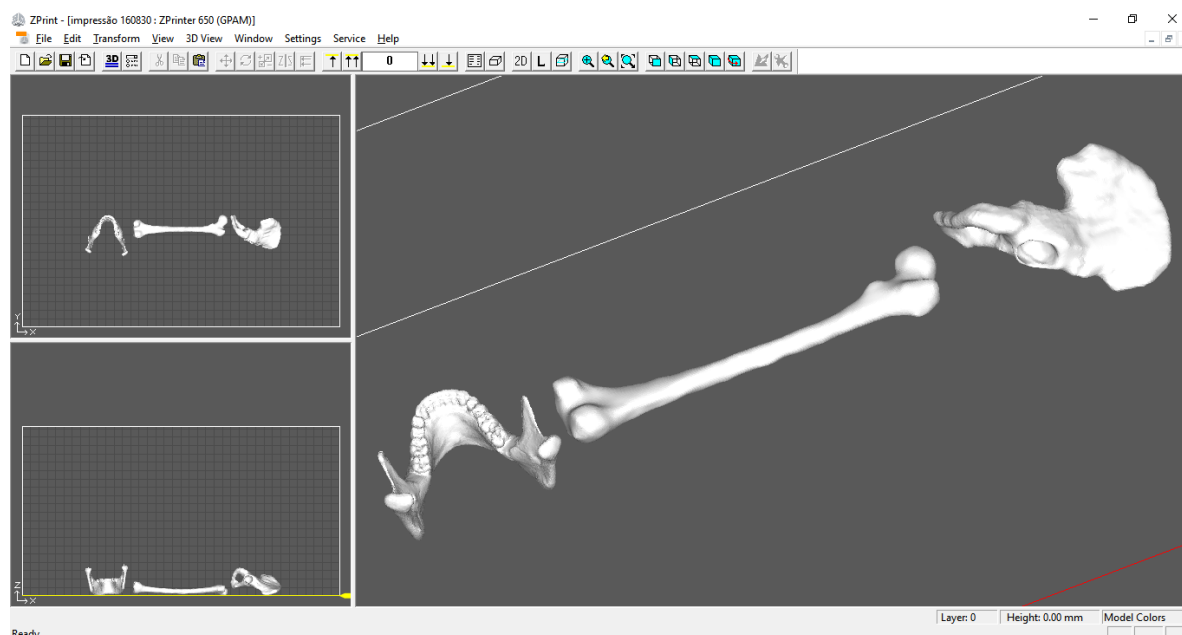


Figura 5 - Peças reconstituídas digitalmente e prontas para impressão

4. Resultados

Analizando os protótipos impressos pode-se constatar a riqueza de detalhes dos modelos reais assim como nos modelos virtuais. O resultado desta etapa pode ser visto abaixo, na Figura 6. A impressão foi fidedigna quanto as características de cada osso reconstruído digitalmente, tanto nos formatos de cada dente da mandíbula quanto a possibilidade de encaixe do fêmur ao osso do quadril.



Figura 6 - Protótipos impressos do quadril, fêmur e mandíbula

As imperfeições que estavam no modelo virtual, mesmo após a etapa de correção, também foram percebidas no modelo físico impresso, pois a qualidade final não depende apenas da qualidade das imagens em DICOM, ou dos softwares, juntamente com os recursos computacionais envolvidos neste processo, mas também da habilidade do operador em trabalhar com imagens médicas, assim como estar familiarizado em ambientes de edição de imagens tridimensionais.

Para uma comparação qualitativa foram impressos modelos disponibilizados na internet de uma mandíbula e um fêmur. Desse modo é possível analisar e comparar a diferença entre imagens DICOM geradas com uma melhor qualidade e reconstituídas por profissionais com experiência e recursos profissionais. A Figura 7 mostra o resultado da impressão de arquivos

gerados em alta qualidade no repositório de imagens tridimensionais 3DCONTENTCENTRAL da Dassault Systemes.

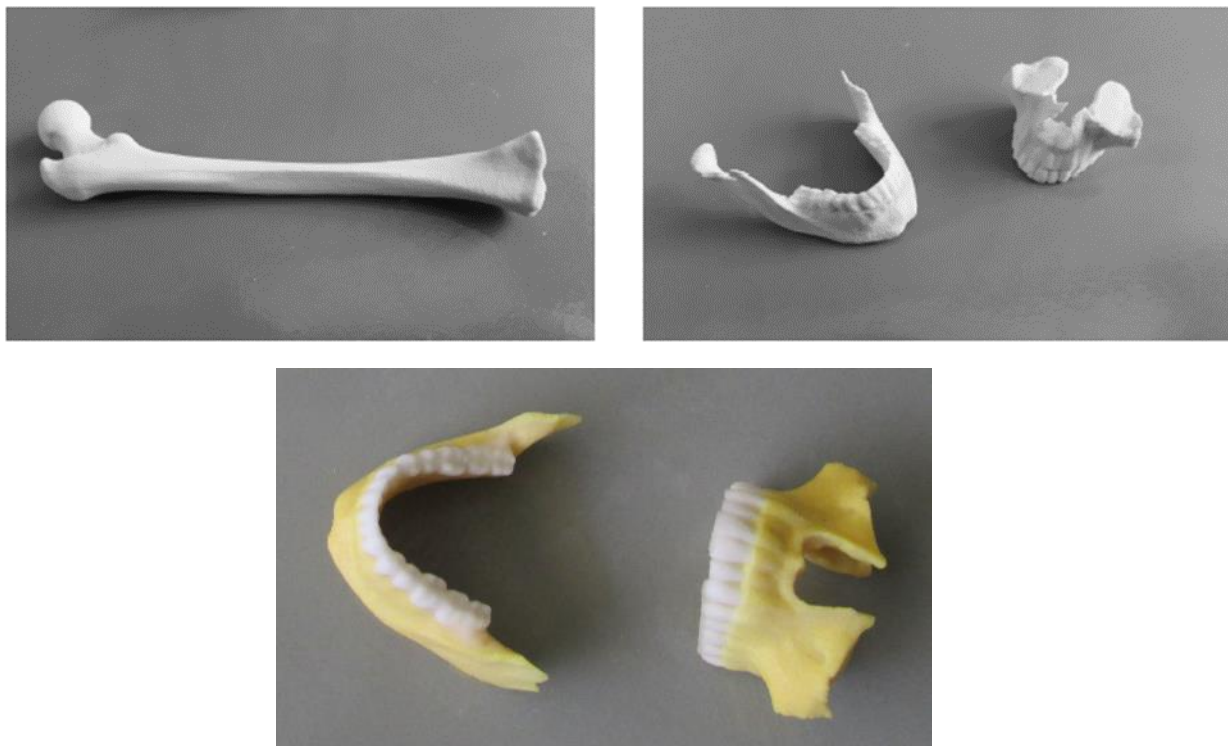


Figura 7 - Protótipos impressos originadas de arquivos de alta qualidade

As impressões destas novas peças seguiram os mesmos parâmetros de impressão das peças trabalhadas neste artigo. Desse modo, pode-se comparar qualitativamente o resultado das etapas de reconstrução digital.

Assim como nas peças anteriores a impressão reproduz com riqueza de detalhes as formas e as texturas dos modelos virtuais, porém com uma qualidade nitidamente superior.

Um dos fatores principais para uma reconstituição digital de alta qualidade começa com a aquisição das imagens médicas, pois com imagens de baixa qualidade dificulta todo o processo desde seu início. Como a seleção das imagens de interesse dependem de regiões de maior ou menor densidade, intensidade da escala de cinza, a má qualidade das imagens dificulta a seleção mais precisa dessas regiões, dificultando na limpeza e ajustes necessários das imagens tridimensionais e por fim resultando em um modelo de baixa qualidade.

5. Considerações Finais

A comunidade científica continua a reunir esforços para encontrar soluções, no que concerne a materiais, que respondam eficazmente aos problemas de biocompatibilidade, regeneração óssea, entre outros, e simultaneamente torna-os aptos para serem utilizados em tecnologias, como a PR, que podem responder em curtos espaços de tempo às necessidades dos utilizadores. Neste sentido, o grupo de pesquisa se encontra desenvolvendo técnicas e plataformas através de pesquisa e desenvolvimento para uso na área médica. Os resultados deste trabalho, mesmo com todas limitações observadas, foi satisfatório pois através dessa metodologia descrita é possível reconstituir digitalmente imagens médicas e prototipá-las para ajudar no planejamento cirúrgico ou ajudar na visualização de deformidades ou diagnósticos por modelos tridimensionais.

Referências

- AMORIM, P. H. J; FRANCO, T. F.; AZEVEDO F. S.; SILVA, J. V. L. *InVesalius: Software Livre de Imagens Médicas*. Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer-CTI, Campinas/SP, 2011.
- DASCHBACH, ABELLA, MCNICHOLS. *Reverse Engineering: A Tool for process planning*. 17th International Conference on Computers and Industrial Engineering. Elsevier Science Ltd. Vol. 29, No. 1-4, pp. 637-640. Setembro 1995.
- GIBSON, CHEUNG, CHOW, CHEUNG, BEH, LEE. *The use of rapid prototyping to assist medical applications*, *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 12 pp. 53 – 58, 2006
- GREGOLIN, R. F. ; ZAVAGLIA, C.A. ; TOKIMATSU, R.C. ; PEREIRA, J. A. . *Geração de Imagem Tridimensional Biomecânica Para Desenvolvimento de Projetos de Implantes Personalizados em Liga de Titânio*. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014, Cuiabá. 21º CBECiMat, 2014.
- KAUFMAN, J; RENNIE, A; CLEMENT, M. *Single camera photogrammetry for reverse engineering and fabrication of ancient and modern artifacts*. *Procedia CIRP*, v. 36, p. 223-229, 2015.
- LEITE, W; CRUZ, I; RESENDE, K; RUBIO, J. *Prototipagem Rápida por Deposição De Material Fundido- Uma aplicação acadêmica*, 31º Encontro Nacional De Engenharia de Produção, Belo Horizonte, 2011.
- MEURER, SILVA, SANTA BARBARA, NOBRE, OLIVEIRA. *Aquisição e manipulação de imagens por tomografia computadorizada da região maxilofacial visando à obtenção de protótipos biomédicos*, *Revista radiologia brasileira*, 2008
- SANTA BÁRBARA, A. *Processamento de Imagens Médicas Tomográficas para Modelagem Virtual e Física – O Software Invesalius*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. Dissertação (Doutorado)
- PANDLEY, P. M. *Rapid Prototyping Technologies: applications and part deposition planning*. Nova Delhi: Instituto tecnológico Indiano de Nova Delhi, 2005
- PEREIRA, K.F.R. *Reconstrução de peças para aplicações industriais*, Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. Trabalho de graduação
- RAJA, V.; FERNANDES, K. J. *Reverse Engineering: an industrial perspective*. Londres: Editora Springer, 2008.
- RIOJA CALVO, A. *Comparativa de software libre para tratamiento de archivos DICOM*. Valladolid: Universidad de Valladolid - Escuela de Ingenierias Industriales, 2015.
- SILVA, MEURER, SANTA BÁRBARA, OLIVEIRA, HEITZ - *As Tecnologias CAD-PR (Prototipagem Rápida) na Reconstrução de Traumas da Face*, Campinas: Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, 2006.
- VOLPATO, Neri. *Prototipagem Rápida: Tecnologia e Aplicações*, São Paulo: Editora Blucher, 2007