

A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA MODELAÇÃO DE PATOLOGIAS

Luís Queijo¹, João Rocha², Paulo Miguel Pereira³, Luísa Barreira⁴, Manuel San Juan⁵, Tiago Barbosa⁶

1- Departamento de Tecnologia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança; lqueijo@ipb.pt

2- Departamento de Tecnologia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança; jrocha@ipb.pt

3- Serviço de Neurocirurgia do Hospital de S. João - Porto. Faculdade de Medicina do Porto; paulompereira@netc.pt

4- Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança; lbarreira@ipb.pt

5- ESTII – Universidad de Valladolid; CIBER – Centro de Investigación Biomecánica y Ergonomía; mansan@eis.uva.es

6- Departamento de Desporto, Laboratório de Ciências do Desporto, Instituto Politécnico de Bragança; barbosa@ipb.pt

PALAVRAS CHAVE: prototipagem rápida, hérnia discal, ressonância magnética, tomografia computadorizada, STL

RESUMO: A utilização da prototipagem rápida tem, cada vez mais, vindo a revelar-se como uma ferramenta de extremo valor no apoio à actividade médica. Partindo de imagens médicas bidimensionais provenientes de Tomografia Computorizada (TC) ou Ressonância Magnética (MRI) é possível a obtenção de modelos tridimensionais.

Os modelos produzidos por prototipagem rápida têm utilidade quer em ambiente educacional, quer em ambiente médico-cirúrgico. Podem facilitar o diagnóstico de determinadas patologias, a elaboração de procedimentos cirúrgicos complexos, o fabrico de próteses, o fabrico de instrumentos médicos bem como a visualização de estruturas anatómicas em ambiente educacional.

1 INTRODUÇÃO

Neste estudo vamos apresentar o uso da Prototipagem Rápida (PR) como uma ferramenta para a produção de um modelo sólido educacional de uma coluna lombar com patologia degenerativa - estenose lombar em L3-L4 e L4-L5, espondilolistese ligeira L3-L4 e escoliose.

Pretende-se fazer a reconstrução tridimensional, a partir de um ficheiro de imagens bidimensionais, obtidas por Tomografia Computorizada (TC), de um modelo biomédico com objectivo didáctico. São de seguida usadas técnicas de prototipagem rápida (impressão 3D) com vista à obtenção do modelo sólido.

1.1 ESTENOSE LOMBAR E ESPONDILOLISTESE DEGENERATIVA

A evolução para a bipedestação ao longo do desenvolvimento filogenético da espécie humana acarretou um aumento da carga axial e dos momentos flectores aplicados sobre a coluna lombar, especialmente sobre os seus segmentos inferiores.

À medida que o processo degenerativo vai progredindo há uma desidratação e diminuição da altura dos discos intervertebrais e, conseqüentemente, uma sobrecarga das facetas articulares e uma hipermobilidade segmentar. A hipertrofia artrósica das facetas articulares surge como uma resposta biológica para limitar a hipermobilidade, mas é muitas vezes causa de sintomatologia devida à compressão de estruturas nervosas (estenose lombar degenerativa). A espondilolistese degenerativa

é uma forma de estenose em que ocorre um deslizamento anterior de uma vértebra em relação à que lhe está subjacente na presença de um arco neural íntegro e associada a hipertrofia artrósica das facetas articulares.

1.2 CONVERSÃO DAS IMAGENS TOMOGRÁFICAS PARA MODELOS TRIDIMENSIONAIS

No processo de conversão de uma tomografia computadorizada num modelo 3D é necessária uma sequência de secções transversais da região que se pretende estudar. Utilizando um programa de reconstrução 3D é possível transformar essas imagens bidimensionais num modelo tridimensional, que posteriormente poderá ser utilizado na fabricação de um modelo sólido num equipamento de PR. [2]

As imagens obtidas por tomografia computadorizada obedecem às normas internacionais do padrão DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). Elas são obtidas através de cortes axiais na região desejada e o equipamento deve estar ajustado para a menor espessura possível, pois quanto menor esse valor, melhor será a qualidade do modelo. [2]

1.3 O FABRICO DE PROTÓTIPOS RÁPIDOS E ALGUMAS APLICAÇÕES NA MEDICINA

Prototipagem rápida, é a construção automática de objectos físicos. Trata-se de um processo aditivo construtivo, camada por camada que permite produzir objectos com formas complexas directamente de dados digitais tridimensionais e utilizado para obtenção directa de protótipos sólidos [3-9]. As geometrias podem ser obtidas utilizando um programa de modelação sólida (CAD) ou pela conversão de arquivos obtidos de *scanners* 3D, de Tomografia Computadorizada e da Ressonância Magnética. As primeiras técnicas para prototipagem rápida ficaram disponíveis nos anos oitenta e foram usadas

para produzir modelos e partes de protótipos [3].

Uma das principais aplicações da prototipagem rápida é na verificação de novos projectos, quando estes se encontram numa fase embrionária ou mesmo avançada de concepção. Em todos os processos de prototipagem rápida recorre-se a um desenho CAD 3D que é traduzido para um ficheiro STL (*StereoLithography*), [10] no qual todas as superfícies do modelo são convertidas em triângulos.

Na área da engenharia Biomédica, recorrendo a técnicas de prototipagem é possível fabricar vários tipos de modelos anatómicos e réplicas de implantes com fins educacionais ou para melhor entender determinada patologia de um paciente. Os modelos, dependendo das técnicas disponíveis, podem ser feitos de papel, cera, cerâmicos, plástico ou metal [5]. Estes modelos podem ser produzidos sem necessidade de acabamento e de várias cores ou posteriormente sofrer estas operações de acabamento e pintura, de forma a facilitar a sua visualização. Com objectivos educacionais é possível fabricar réplicas de implantes por um valor muito inferior ao do implante.

Particularmente interessante é o fabrico de modelos anatómicos a partir de imagens tomográficas de pacientes. Estes modelos permitem aos alunos das áreas biomédicas ter uma visão facilitada da patologia e comparar com modelos anatómicos normais. Para maior familiarização com peças anatómicas e técnicas de imagiologia, também é possível a comparação, em simultâneo da imagem original com o modelo sólido 3D.

Os profissionais das áreas médicas têm colaborado, cada vez mais, com profissionais de outras áreas no sentido de otimizar preoperatoriamente a análise da patologia, encurtar os tempos de intervenção cirúrgica, criar ferramentas personalizadas, facilitar o diálogo com os pacientes e, simultaneamente, explorar as potencialidades que a tecnologia

oferece em termos de design de próteses personalizadas [5].

Em particular, réplicas de segmentos da coluna vertebral são úteis para diagnóstico, planeamento e simulação de cirurgias e permitem aos pacientes entender a natureza das suas patologias e dos procedimentos cirúrgicos [11].

Um dos casos mais populares de aplicação da prototipagem rápida na área médica foi a separação das gémeas siamesas, conhecidas como “Pequenas Marias”, que nasceram unidas pelo crânio e com os rostos virados em direcções opostas. A equipe médica utilizou na preparação da cirurgia vários modelos biomédicos em estereolitografia. A utilização dos modelos biomecânicos encurtou para 25% o tempo usualmente gasto em procedimentos semelhantes [2].

Diversos processos de fabrico estão actualmente disponíveis, tais como a Modelagem por Deposição de Material Fundido (ou Modelação por Extrusão de Plástico ou Modelação por Fusão e Deposição) - FDM, Estereolitografia (SLA), Sinterização Selectiva por Laser (SLS), Impressão Tridimensional (TDP), Fabricação de Objectos por Camadas (LOM) entre outros de maior especificidade.

De seguida apresenta-se um resumo dos mais utilizados processos de prototipagem rápida.

Modelagem por Fusão e Deposição (FDM): Este processo de prototipagem, desenvolvido pela Stratasys Inc., constrói as peças por deposição de um material termoplástico extrudido. A cabeça injectora traça os perímetros da sessão transversal e preenche-os construindo assim cada camada. Um dos materiais comumente utilizados é o ABS, um plástico de engenharia muito utilizado por possuir boas propriedades mecânicas. Recentemente foram lançadas máquinas que permitem a construção de peças em policarbonato e polifenilsulfona que possuem

propriedades mecânicas e térmicas ainda melhores que o ABS.

Estereolitografia (SLA): Este sistema, criado pela 3D SYSTEMS em parceria com a CIBA, constrói o protótipo pela polimerização de uma resina líquida fotocurável por meio da incidência de luz ultravioleta gerada através de um raio laser. A solidificação é feita camada a camada e este processo permite a obtenção de peças com boa transparência e excelente acabamento superficial.

Sinterização Selectiva por Laser (SLS): Este sistema desenvolvido na Universidade do Texas (EUA), permite a construção de modelos físicos utilizando materiais na forma de pó. O pó é processado num ambiente inerte e termicamente controlado no interior de uma câmara. Ele atinge a temperatura de fusão (sinterização) por acção de um laser de CO₂. Depois de uma camada ser sinterizada, uma nova é depositada e assim sucessivamente até finalizar a construção da peça. Este processo exige um trabalho de pós-processamento para melhorar o acabamento das superfícies e a sua grande vantagem é a variedade de materiais que podem ser utilizados, incluindo os metais.

Impressão tridimensional (TDP). Neste sistema os modelos são construídos a partir de um material em pó (podem ser utilizados diferentes tipos de materiais) ligado por intermédio de um ligante líquido. O jacto de ligante é aplicado através de cabeças de impressão idênticas às utilizadas pelas impressoras de jacto de tinta. A peça é retirada em verde da máquina ficando solto o pó não aglutinado pelo ligante. O modelo sofre, numa segunda fase, um tratamento térmico para aumentar a sua resistência.

Fabricação de Objectos por Camadas (LOM). Os modelos são fabricados colando sucessivamente folhas de papel, as quais são cortadas por intermédio de um feixe laser. Todo o papel que não faz parte do componente é cortado em quadrados ou rectângulos para facilitar a posterior remoção do modelo do bloco de papel (descubagem). Para assegurar

a rigidez de todo o conjunto é construído simultaneamente um caixilho. Da espessura do papel empregue e da sua qualidade vai depender a definição dos modelos obtidos. Além do papel, este equipamento pode construir modelos em fibra de vidro, cerâmica e metal [3].

2 METODOLOGIA

Após obtenção de autorização do paciente para a utilização das imagens de TC, estas foram transferidas para o computador onde será executado o tratamento e removidos os dados identificativos.

O processo para obtenção do modelo anatómico é composto pelas seguintes etapas:

- Pré-processamento das imagens bidimensionais e reconstrução da superfície entre os contornos, efectuado no software ScanIP. Esta etapa é feita com recurso a operações de segmentação (*threshold*, *floodfill* e *paint*) que permitem a distinção e criação de máscaras baseadas na graduação de cinzentos das imagens. Estas máscaras podem ser definidas através de cores escolhidas pelo utilizador o que permite definir graus de contraste entre elas para uma mais fácil visualização bem como para fazer a distinção entre os elementos pretendidos.

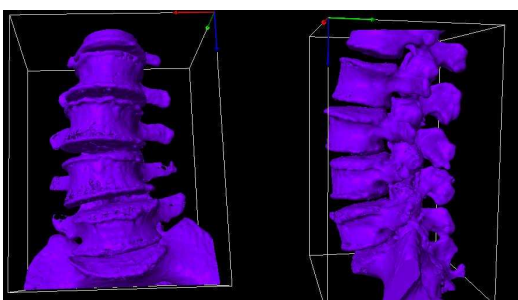


Fig. 1 Visualizações do pré-processamento de imagens efectuado no software ScanIP.

O primeiro passo de conversão consistiu na representação 3D através de uma aplicação de processamento de imagem que permite a visualização de volumes fechados, após uma etapa de segmentação baseada na intensidade do sinal – *thresholding*. Esta aplicação interactiva permite ao utilizador a detecção e

selecção de contornos da zona com espondilolistese através da redefinição de níveis de cinzento permitindo a separação de tecidos ósseos dos tecidos moles. Esta operação recorre à utilização de algoritmos de reconhecimento dos níveis de cinzento tendo, por isso, um maior grau de automatização.

Após a obtenção de contornos com a qualidade pretendida é feito um aperfeiçoamento destes de forma manual recorrendo às operações *paint* e *floodfill*. Estas operações consistem no ajuste dos contornos obtidos à forma dos elementos que se pretendem representar e modelar. Esta operação revela-se a mais morosa uma vez que os contornos devem ser ajustados em mais que uma orientação e de forma manual em cada imagem a ser tratada.

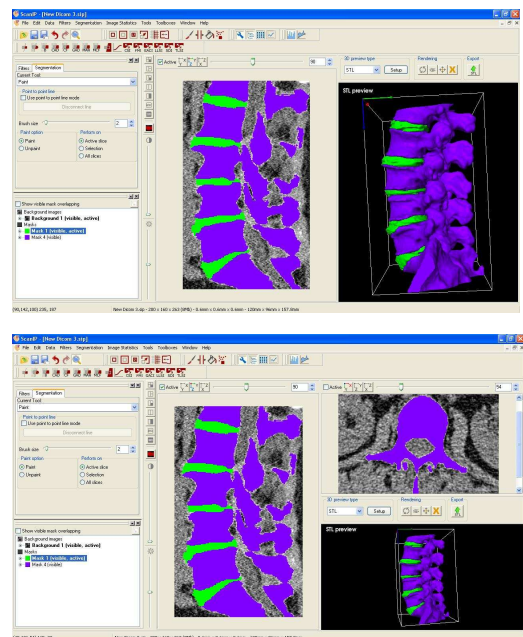


Fig. 2 Visualização do pré-processamento de imagens efectuado no software ScanIP.

- Renderização e pré-visualização tridimensional que permitem acompanhar o desenvolvimento do trabalho ao longo da etapa anterior, detectar e corrigir possíveis imperfeições existentes. A renderização tridimensional é feita recorrendo à construção de uma malha de triângulos planares consecutivos derivada das máscaras definidas na fase anterior. Esta permite a visualização do modelo na sua forma final com as cores das

máscaras predefinidas. Associando estas duas ultimas fases é possível efectuar um processo iterativo com o objectivo de tornar o modelo o mais próximo da realidade possível.

Da análise das figuras 1 e 3 é possível visualizar a diferenciação entre as máscaras correspondentes ao tecido ósseo da vértebras e do tecido mole dos discos vertebrais. Na figura 1 é ainda possível constatar a imperfeição do modelo numa fase prévia ao ajuste manual das máscaras.

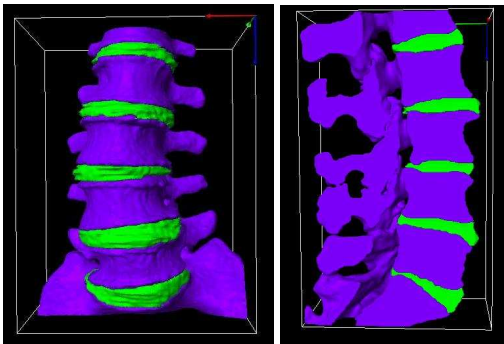


Fig. 3 Renderização e pré-visualização tridimensional no software ScanIP.

- A geração do arquivo STL (*StereoLithography*) permite a junção das várias máscaras num único ficheiro ou a criação de vários ficheiros com máscaras distintas.

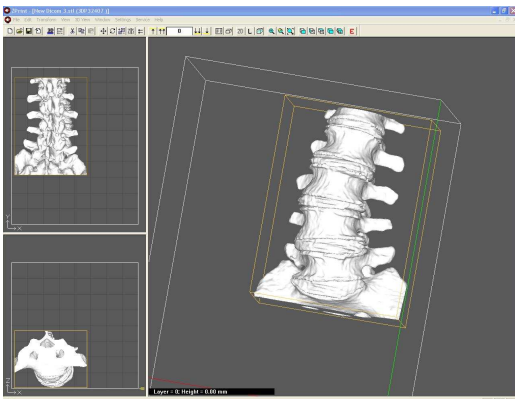


Fig. 4 Visualização do ficheiro STL no software de impressão ZPrint.

Os dados contidos neste tipo de ficheiro consistem na tradução e conversão da malha tridimensional da modelação saída do software de tratamento de imagem para um formato de impressão admitido pelo equipamento de prototipagem rápida. Este formato contém a divisão em camadas do modelo de forma a permitir a impressão camada a camada.

- Produção do modelo, no equipamento de

Prototipagem Rápida ZPrinter 310 Plus da ZCorp.

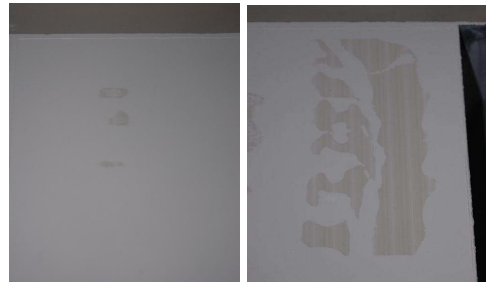
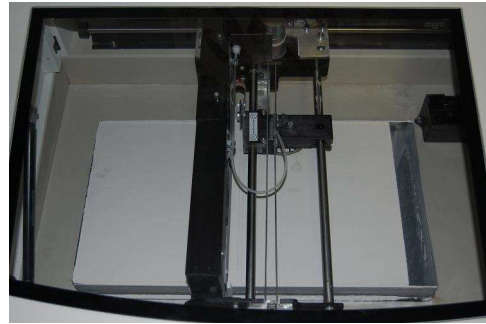


Fig. 5 Produção do modelo completo.

Nas imagens da figura 5 é possível visualizar as várias fases de produção do modelo desde a impressão de cada uma das camadas até à remoção do modelo do pó não aglomerado.

- Acabamento, que inclui a remoção e reciclagem de material excedente e consolidação do meio [5, 7].





Fig. 6 Operações de limpeza e reciclagem.

As operações de limpeza consistem na remoção total, por meio de ar comprimido, do pó não aglomerado de modo a ser obtida uma superfície irregular mas não pulverenta. Posteriormente é feita a consolidação do modelo através da aplicação de uma camada de resina epóxida ou cianocrilato.

CONCLUSÕES

O uso de réplicas tridimensionais de segmentos da coluna vertebral são úteis para diagnóstico, planeamento e simulação de cirurgias. A visualização e manipulação das réplicas tridimensionais por parte dos pacientes permitem-lhes entender a natureza das suas patologias, dos procedimentos cirúrgicos a adoptar pelo cirurgião bem como reduzir a ansiedade face à necessidade de uma intervenção cirúrgica.

Com a cooperação de equipas multidisciplinares, é possível em 24 horas, construir modelos tridimensionais de segmentos de coluna vertebral destinados a estas aplicações.



Fig. 7 Comparação entre um modelo sem patologia e o modelo em estudo.

Da análise dos modelos representados na figura 7 em que o modelo da esquerda representa uma coluna sem patologias e o modelo da direita é o nosso objecto de estudo com as patologias referidas anteriormente, é perfeitamente possível visualizar as diferenças existentes.

No modelo que estudamos visualiza-se perfeitamente um desalinhamento lateral das vértebras discais - escoliose, permitindo, assim, que qualquer pessoa perceba a natureza e dimensão desta patologia.

REFERÊNCIAS

- [1] Arantes, A., et al. *Diretrizes no Tratamento Cirúrgico das Espondilolisteses Degenerativas*. 2007 [cited; Available from: http://www.cirurgiadacolunavertebral.com.br/diretrizes/resumo_diretrizes_degenerativas.pdf.
- [2] Foggiatto, J.A., *O Uso da Prototipagem Rápida na Área Médico-Odontológica*. Tecnologia & Humanismo UTFPR, 2006. **30**.
- [3] Alves, L. and F. Braga, *Protoclick, prototipagem rápida*. 2001, Porto,; Protoclick, INEGI.
- [4] Alves, L. and J. Rocha, *Desenvolvimento de moldações cerâmicas compósitas para o fabrico de ferramentas metálicas*. O Molde, 2000.
- [5] Antas, A.F., F.J. Lino, and R. Neto. *Utilização das Tecnologias de Prototipagem Rápida na Área Médica*. in *5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*. 2008. Moçambique, Maputo.
- [6] Netto, A.d.C.S. and A. Ogliari. *Prototipagem rápida: uma ferramenta de projeto para a redução do tempo de desenvolvimento e melhoria de qualidade de produtos*. in *IV Congr. Bras. Gestão e Desenv. de Produtos*. 2003. Gramado, RS, Brasil.
- [7] Queijo, L., J. Rocha, et al. (2008). *Tratamento de imagem médica de uma coluna lombar com patologia de estenose lombar e espondilolistese degenerativa com objectivo de criação de um modelo tridimensional*. 3 Seminário de Eng. Biomedica, Bragança. Portugal.
- [8] Rocha, J., *Moldações Cerâmicas Compósitas*, in *FEUP*. 2000, UP: Porto.
- [9] Rocha, J. and L. Alves. *Utilização de moldações cerâmicas compósitas no fabrico de ferramentas metálicas*. in *2º encontro nacional do colégio de engenharia mecânica da ordem dos engenheiros*. 2000. Coimbra.
- [10] Souza, M.A., T. Centeno, and H. Pedrini, *Integrando reconstrução 3D de imagens tomográficas e rototipagem rápida para a fabricação de modelos médicos*. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 2003. **19**(2): p. 103-105.
- [11] Madrazo, I., et al., *Stereolithography in spine pathology: a 2-case report*. *Surgical Neurology*, 2008

