

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/228865938>

# Simulação do Movimento da Mandíbula e Comportamento da Articulação Temporomandibular

Article

CITATIONS

2

READS

1,053

6 authors, including:



**Luciana Nedel**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

241 PUBLICATIONS 1,813 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Carla Dal Sasso Freitas**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

191 PUBLICATIONS 1,671 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Roger Lanes Silveira**

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

32 PUBLICATIONS 107 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Ana Maria Marques Da Silva**

PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

107 PUBLICATIONS 267 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Effect of hypergravity simulated on plants [View project](#)



Comfortable Immersive Analytics with the VirtualDesk Metaphor [View project](#)

## Simulação do Movimento da Mandíbula e Comportamento da Articulação Temporomandibular

Marta B. Villamil<sup>1</sup>, Luciana P. Nedel<sup>1</sup>, Carla M.D.S. Freitas<sup>1</sup>,  
Rosilene A. Machado<sup>2</sup>, Roger Lanes Silveira<sup>2</sup>, Ana M. Marques da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

<sup>2</sup>Faculdade de Odontologia – Pontifícia Univ. Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)  
Caixa Postal 1429 – 90.619-900 – Porto Alegre – RS – Brazil

<sup>3</sup>Faculdade de Física – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)  
Caixa Postal 1429 – 90.619-900 – Porto Alegre – RS – Brazil

{mbvillamil, nedel, carla}@inf.ufrgs.br, rosorridente@aol.com,  
rogerlanes@ig.com.br, anasilva@pucrs.br

**Abstract.** *The temporomandibular joint (TMJ) is located on both sides of the face in front of the ears, connecting the jaw to the temporal bone of the skull. It is one of the most complicated joints in the human body since it provides rotation and translation movements. The proper healthy function of the TMJ system requires normal structure and function of all the component parts, including muscles, nervous system, ligaments, joints and teeth. This paper presents a model to simulate the articular motion in 3D based on the joints anatomic characteristics, and a method to obtain the datasets, reconstruct the 3D model and simulate the mastication movement. The concepts and methods presented will be used in the development of a virtual reality tool to assist the education of dentists and craniofacial surgeons.*

**Resumo.** *A articulação temporomandibular (ATM) está situada em ambos os lados da face na frente das orelhas, conectando o maxilar ao osso temporal do crânio. É uma das articulações mais complicadas do corpo humano, pois realiza movimentos de rotação e translação. A função adequada do sistema da ATM requer que a estrutura e a função de todas as partes componentes, incluindo os músculos, sistema nervoso, ligamentos, articulações e dente, sejam normais. Este artigo apresenta um modelo 3D que simula o movimento articular, baseado nas características anatômicas das articulações, e um método para obter as séries de dados, reconstruir o modelo 3D e simular o movimento de mastigação. Os conceitos e métodos apresentados serão usados no desenvolvimento de uma ferramenta de realidade virtual para auxiliar a formação de dentistas e cirurgiões craniofaciais.*

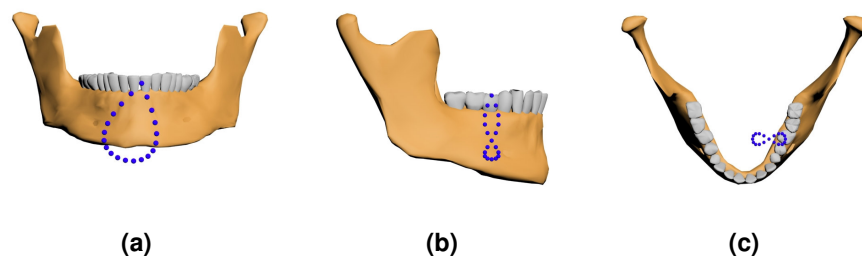
### 1. Introdução

O conhecimento do movimento da mandíbula humana tem influenciado os cirurgiões maxilofaciais e dentistas em procedimentos que envolvem correções da mandíbula e dos dentes. Além dos problemas induzidos por alterações morfológicas e condições

patológicas da articulação temporomandibular (ATM), a mandíbula é considerada uma das regiões mais expostas aos traumas da face. Os traumas de mandíbula algumas vezes não são detectados, principalmente quando a fratura ocorre na região do côndilo. A incidência de um grande número de traumas nesta articulação é influenciada não apenas por seu uso regular durante a mastigação, mas também devido às forças intensas aplicadas pelos músculos e pela grande faixa de movimentos que ela é capaz de produzir (6 graus de liberdade). O uso de simuladores de mandíbula na educação em odontologia, no ajuste ortodôntico de oclusões ou no planejamento pré-operatório de cirurgias craniofaciais pode ser extremamente útil, melhorando o diagnóstico e o tratamento.

Durante a abertura da boca, movimentos laterais e para frente são controlados pela forma dos ossos e pela ação dos músculos e ligamentos, enquanto o ponto final do movimento de fechamento da mandíbula é controlado pela oclusão dos dentes. Ainda mais significativa, os dentes podem ser considerados como um conjunto de engrenagens conectadas a esse mecanismo. Os dentes, as estruturas que os circundam e a ATM contém sensores conectados ao sistema neuromuscular, que programa o modo como a mandíbula se move. Nenhuma outra articulação do corpo possui um limite de ponto final rígido.

Durante a mastigação, o movimento básico da mandíbula é mais do que um movimento rítmico para cima e para baixo. O ciclo da deglutição inclui um movimento anterior e posterior, uma rotação no plano horizontal e um desvio lateral da mandíbula. O movimento padrão da mandíbula de um adulto durante a mastigação possui uma aparência de queda no plano frontal, com uma abertura medial e um fechamento lateral, como mostrado na Figura 1a. Este movimento é chamado de movimento de Bennett [Mohl *et al.* 1989]. A extensão máxima dos movimentos lateral e vertical na mastigação normal é cerca de metade dos movimentos vertical e lateral máximos. O movimento antero-posterior da mandíbula, descrito pela vista sagital é mostrado na Figura 1b, enquanto o padrão do movimento da mandíbula observado na vista superior é representado na Figura 1c [Gibbs e Lundeen 1982].



**Figura 1. Curva padrão do movimento da mandíbula baseada: (a) no movimento de Bennet (1989); e (b) e (c) nos estudos feitos por Gibbs e Lundeen (1982).**

Apesar do ciclo de mastigação poder ser representado pela curva padrão mostrada na Figura 1, de fato, o movimento muda de acordo com as características individuais, incluindo a oclusão dentária [Wood *et al.* 1981] e o número de dentes [Bates *et al.* 1975], assim como é afetada pelo tipo e tamanho dos alimentos [Gibbs *et al.* 1981]. Diferenças pessoais e circunstanciais no ciclo de mastigação têm sido estudadas por diversos pesquisadores nos últimos 7-8 anos. Nestes estudos, experimentos foram realizados para observar os diferentes padrões de movimento da

mandíbula, especialmente aqueles referentes à deglutição de alimentos com diferentes texturas.

Este artigo apresenta um modelo para simular o movimento articular em 3D, baseado nas características anatômicas das articulações, e um método para obter os conjuntos de dados, reconstruir o modelo 3D e simular o movimento de mastigação. Os conceitos e métodos apresentados neste trabalho serão utilizados no desenvolvimento de uma ferramenta de realidade virtual para auxiliar o treinamento de dentistas no ajuste de oclusões, assim como no planejamento pré-operatório de cirurgias craniofaciais.

### **2. Avaliação da ATM**

Inicialmente, o estudo da ATM era limitado às análises realizadas através das radiografias convencionais. Com a evolução de tecnologias de imagens médicas foi possível melhorar o processo de avaliação para um diagnóstico adicionando-se o uso de tomografia linear, cintilografia, tomografia computadorizada por raios X (TC) e imagem por ressonância magnética (RM).

Pullinger e White (1995) em um estudo de imagens utilizando tomografia computadorizada por raios X relatam que este método de diagnóstico por imagem permite a obtenção de novas informações sobre as estruturas ósseas da articulação, da cabeça da mandíbula e tem sido utilizado em pacientes que procuram atendimento com dores musculares, degenerações intra-articulares e osteoartrite. Alterações ósseas na articulação podem ser notadas na cabeça da mandíbula em 61% dos casos e 47% na cavidade articular enquanto alterações de posição da cabeça da mandíbula na cavidade podem ser observadas em 31% dos casos. Os autores recomendam, para todos os pacientes com alterações clínicas e dor, uma avaliação das estruturas ósseas via tomografia computadorizada por raios X. No entanto, a TC não consegue avaliar o disco articular e alterações nos tecidos moles.

Atualmente, com o uso de imagens obtidas por ressonância magnética, uma nova dimensão de avaliação da região temporomandibular permite a observação e estudo dos tecidos moles intra-articulares, bem como da musculatura e ligamentos adjacentes. Novas patologias passaram a ser identificadas, deixando o componente ósseo, antes absoluto, como mais um dos constituintes desta região [Oliveira 2001].

A técnica de RM 3D para visualização da ATM facilita a compreensão da relação desta com os componentes articulares. A imagem facilita o entendimento da ação funcional da ATM [Kitai *et al.* 2004]. O pequeno tamanho das estruturas a serem estudadas exige o uso de pequenas bobinas de superfície (ver Seção 3). Após uma seqüência de localização axial ponderada em T1, imagens sagitais são obtidas, com orientação perpendicular ao eixo horizontal maior do côndilo mandibular, com a boca aberta e fechada [Westesson 1996]. Imagens ponderadas em T2 com supressão de gordura na posição sagital com a boca fechada são úteis para verificar efusões e lesões ósseas. Imagens coronais ponderadas em T1, obtidas paralelamente ao eixo horizontal maior da cabeça da mandíbula são incluídas nas séries para verificar deslocamentos laterais ou mediais do disco. Além disso, espessuras de cortes menores do que 3 mm, com intervalos de 0 a 1 mm e um pequeno campo de visão, são necessidades adicionais para a obtenção de imagens com detalhamento adequado [Rao e Vinitski 1993]. A

avaliação também pode incluir a realização de procedimentos de RM dinâmica, acompanhado de uma técnica de posicionamento passivo incremental [Behr *et al.* 1996].

Em relação à modelagem 3D de um movimento específico envolvendo a abertura e fechamento da boca, Enciso *et al.* (2003) propuseram um método que aplica os dados do movimento 3D obtidos a partir de sinais de ultrasonografia em uma mandíbula segmentada de um modelo craniofacial reconstruídos a partir de uma seqüência de imagens de TC. Nesse trabalho, a captura do movimento da mandíbula utiliza sensores ultrasônicos acoplados à cabeça e emissores firmemente fixados na dentição mandibular. Fushima *et al.* (2003) reconstruíram a ATM baseados em dados reais e de cinemática, analisando especificamente a variação do espaço intra-articular da ATM durante a mastigação. A reconstrução da anatomia da articulação foi baseada em dados tomográficos e o movimento da mandíbula real foi gravado com um equipamento de rastreamento não-invasivo.

### 3. Materiais e Métodos

Este trabalho se propõe a desenvolver um simulador de mandíbula capaz de reproduzir o movimento completo de mastigação. Nosso simulador de mandíbula é basicamente composto por um modelo 3D representando o crânio, mandíbula e dentes, e um modelo de articulação baseado na anatomia, desenvolvido para representar o movimento da ATM.

#### 3.1. Reconstrução do Modelo 3D

**Aquisição.** As imagens obtidas por tomografia computadorizada por raios X foram adquiridas em um equipamento de tomografia computadorizada PQ5000 CT (Marconi Medical Systems, Cleveland, Ohio) com 1.0 mm espaçamento entre cortes e espessura, 24.0 cm de campo de visão (FOV). As imagens possuem 512 x 512 pixels, cada pixel representando 0.4687 mm. O conjunto total contém 252 cortes axiais (12 bits/pixel de informação de escala de cinza) em formato DICOM. Para facilitar a diferenciação das estruturas durante o procedimento de reconstrução e evitar a oclusão dos dentes, a boca da voluntária foi mantida aberta por meio de três blocos de LEGO<sup>®</sup> (cerca de 3 cm) entre sua mandíbula e os dentes superiores (Figura 2, esquerda), permitindo obter melhor precisão de forma dos dentes. A avaliação incluiu a realização de imagens T2\* de RM dinâmica (CINE mode) em equipamento POLARIS 1.0T (Picker International, Cleveland, Ohio), usando um par de bobinas de superfície de 12 cm de diâmetro (TR 50 ms, TE = 15 ms, flip 30°), acompanhadas de uma técnica de posicionamento passivo incremental (oclusão, 1 bloco, 2 blocos e 3 blocos LEGO<sup>®</sup>). Os cortes sagitais oblíquos foram adquiridos perpendicularmente ao eixo condilar, com cortes de espessura 5 mm e 256 X 256 pixels de tamanho 0,78125 mm.

**Reconstrução.** De forma a reproduzir e visualizar o movimento de mastigação, necessita-se que a mandíbula seja um objeto separado do resto da cabeça. O modelo 3D foi planejado com três malhas de triangulares, uma para a mandíbula, e outras duas para os dentes superiores e o crânio, respectivamente. Inicialmente, para obter estas malhas, um processo de segmentação foi realizado e, a seguir, uma técnica de extração de malhas foi seletivamente aplicada. Os procedimentos foram realizados usando o programa SLICER (2005) (Figura 3), um software livre de código aberto, disponível

para visualização, registro, segmentação e quantificação de imagens médicas [Villamil *et al.* 2005]. O algoritmo Marching Cubes [Lorensen e Cline 1987], disponível no SLICER, foi utilizado para extrair seletivamente as três malhas 3D, cada uma identificada por uma cor específica (Figura 4). Devido à necessidade de alta resolução para tratar a colisão entre os dentes durante a simulação, as malhas da mandíbula e dos dentes superiores têm maior precisão do que a malha dos ossos do crânio.

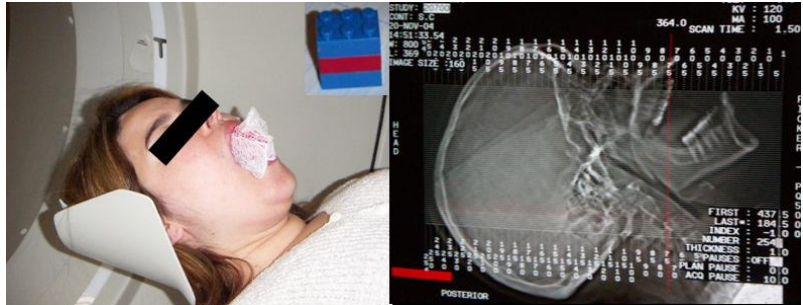


Figura 2. A voluntária manteve a boca aberta durante a tomografia computadorizada por raios X.

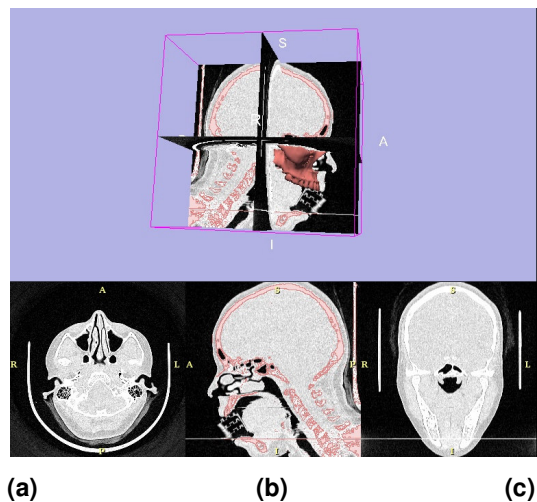
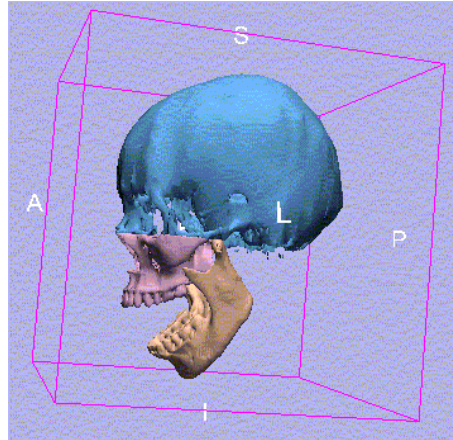


Figura 3. Vistas utilizadas para a separação das regiões de interesse nas imagens de TC. O volume foi segmentado considerando ossos e dentes (região em vermelho). Os cortes em (a) e (c) foram convertidos de volta para a escala de cinza para permitir a separação da área dos dentes superiores.

### 3.2. O Modelo da ATM

O modelo baseado na anatomia [Maciel *et al.* 2002] adotado neste trabalho foi desenvolvido para representar tanto um esqueleto humano inteiro articulado, como apenas parte dele, e pretende atender a aplicações médicas. O modelo representa um sistema articulado como uma árvore onde as articulações (estruturas principais do modelo) correspondem aos nodos, e os segmentos do corpo (apenas ossos, neste caso) são as arestas da árvore. Cada articulação da árvore possui uma matriz homogênea 4x4, chamada LIM (*Local Instance Matrix*), de forma a estabelecer uma relação entre as articulações pai e filha na estrutura de dados. Portanto, cada articulação é definida em seu sistema de referência de parentesco, exceto a articulação raiz, que é definida no

sistema de referência global. Objetos gráficos, tais como as malhas poligonais apresentadas na Seção 3.1, podem ser associados a cada articulação na árvore. Estes objetos possuem uma LIM que define sua posição em relação à articulação, e representam ossos ou qualquer outra estrutura do corpo humano que mude de acordo com a posição da articulação. Quando a posição e orientação de um objeto gráfico em relação ao sistema de referência global são necessárias, para exibição, por exemplo, elas podem ser obtidas multiplicando a LIM de todas as articulações, a partir da raiz até a articulação de interesse e a LIM do objeto.



**Figura 4. As três malhas representando os ossos do crânio, área dos dentes superiores e mandíbula.**

Em nosso modelo, uma articulação representa um conjunto de possíveis movimentos que são definidos de acordo com os seus graus de liberdade. A presença ou não de um grau de liberdade em uma articulação define se a articulação pode (ou não) realizar um determinado movimento. Uma articulação com dois graus de liberdade, por exemplo, determina dois tipos de movimento: flexão/extensão e adução/abdução. Maiores detalhes sobre a hierarquia e estrutura do modelo de articulação podem ser encontrados em Villamil *et al.* (2005).

### 3.3. Curva de Mastigação

Para simular um ciclo de mastigação foi determinada uma curva de movimento paramétrico 3D (Figura 5), que foi obtida compondo as curvas padrão 2D mostradas na Figura 1. Embora a descrição das curvas disponível na literatura seja meramente gráfica, observou-se que o movimento pode ser representado por rotações e translações cujas equações paramétricas foram determinadas empiricamente para descrever o comportamento destes parâmetros:

$$R_x(u) = \sin(u * 2) * c_x,$$

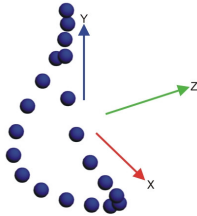
$$R_y(v) = \sin(v) * c_y,$$

$$T_z(v) = \sin(v * 2) * c_z,$$

onde  $u \in [0; \pi]$ ,  $v \in [0; 2\pi]$ , e  $c_x$ ,  $c_y$  e  $c_z$  são coeficientes que podem ser modificados para obter diferentes padrões devido ao tamanho e textura do alimento.

Entretanto, a curva de mastigação padrão não pode ser aplicada diretamente em qualquer mandíbula. Antes disso, é necessário adaptar a configuração da ATM (posição de repouso e limites angulares máximo e mínimo) para suportar a curva e a topologia de uma mandíbula específica a ser simulada. Dependendo dos dentes, ossos e morfologia da mandíbula é necessário determinar a posição e orientação exata da ATM em relação à sua articulação pai, no começo e no final do ciclo de mastigação. Estes dois momentos correspondem ao instante no qual os dentes superiores colidem com os dentes inferiores.

Em relação à detecção da colisão, foi adotada a biblioteca Coldet (2005), uma biblioteca de detecção de colisão livre, que utiliza hierarquias OBB (*Oriented Bounding Boxes*) para garantir resultados precisos.



**Figura 5. Curva de movimento padrão da mandíbula durante um ciclo de mastigação.**

#### 4. Resultados

O modelo de articulação baseado em anatomia deste trabalho foi integrado ao framework *VPat* (“Virtual Patients”) [Freitas *et al.* 2003], desenvolvido para suportar a implementação de aplicações médicas usando computação gráfica. *VPat* é um framework orientado a objetos que fornece classes básicas que podem ser compartilhadas ou estendidas. Por exemplo, a classe *VPScene* permite compor cenas compostas por um conjunto de objetos gráficos (da classe *VPGraphicObj*), luzes (*VPLight*) e câmeras virtuais (*VPCamera*).

Foi desenvolvida uma aplicação *VPat* que implementa a simulação do movimento da ATM na mastigação. Para visualizar os resultados foi usado o framework *VTK* (Visualization ToolKit) [VTK 2005]. Na Figura 6 são mostrados quatro quadros do ciclo de mastigação representando a abertura da boca, a partir de dois pontos de vista (frontal e lateral).

A avaliação destes resultados iniciais envolveu a comparação visual entre imagens de RM dinâmicas de um voluntário e a simulação (Figura 7). As imagens dinâmicas foram construídas a partir de uma série de aquisições estáticas com aberturas variáveis, não mostrando o movimento contínuo da mastigação. Elas constituem-se, na realidade, em um modo pseudo-CINE de visualização. Mesmo com tal limitação, é possível observar que a posição relativa do côndilo com as estruturas vizinhas durante a abertura e oclusão apresentam concordância visual com o modelo simulado. Maiores estudos deverão ser realizados para determinar pontos de referência anatômicas que permitam a validação das medidas dos espaços articulares.



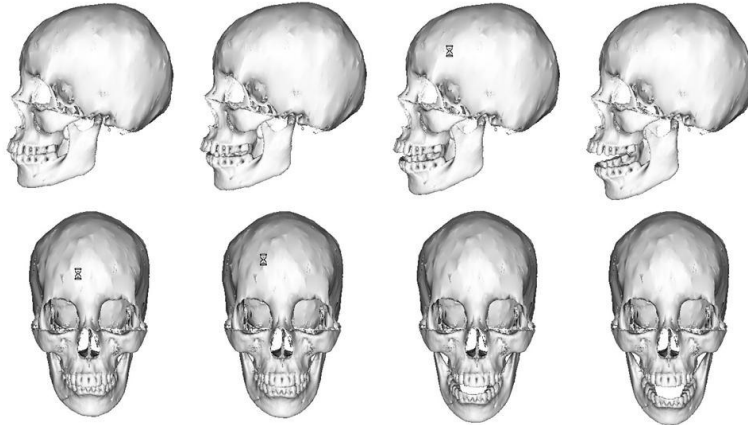


Figura 6. Quadros de abertura da boca na mastigação: vistas lateral e frontal

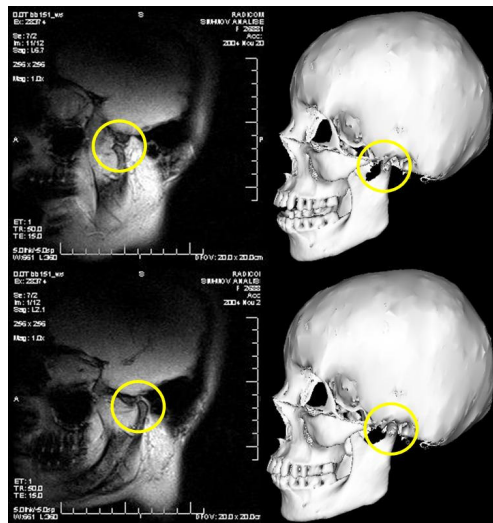


Figura 7. Quadros do simulador da ATM (direita) comparados com as respectivas imagens de RM dinâmicas (esquerda).

## 5. Discussão e Comentários Finais

Este trabalho apresenta a proposta de um modelo para a representação e simulação da articulação temporomandibular no que se refere especificamente aos movimentos da mandíbula envolvidos no ciclo de mastigação. O ciclo de mastigação pode ser dividido em três fases: a abertura, o fechamento e a oclusão [Karlsson e Carlsson 1990]. Este trabalho considerou apenas as fases de abertura e fechamento. Em termos de funcionalidade, a fase de oclusão pode ser considerada a mais importante, mas os movimentos complexos desta fase ainda requerem estudos para definir uma forma de medição adequada para a simulação.

O modelo de simulação do movimento da ATM durante a mastigação apresentado neste trabalho foi baseado na curva tridimensional de mastigação extraída da literatura odontológica. Como esta curva varia segundo características individuais e de tamanho e tipo de alimentos, pretende-se obter experimentalmente a curva de mastigação individual da voluntária. Para isto, será fixado um marcador, visível

## IV SBQS - V Workshop de Informática Médica

externamente, a um elemento dentário da voluntária que será filmada durante sessões de mastigação. Os pontos gerados nas diversas imagens serão unidos um a um, de forma a obter a curva completa de um ciclo mastigatório da voluntária.

Para validação do trabalho pretende-se obter resultados comparativos mais precisos entre o modelo e a realidade, além de comparação visual. Resultados que comparam as medidas cefalométricas do paciente obtidas através de exames de ressonância magnética e as medidas feitas no modelo durante o movimento.

Pretende-se estender este trabalho, analisando o movimento de abertura e fechamento da mandíbula de indivíduos com pós-trauma de fratura de ATM, visto que a mandíbula é considerada um dos locais mais acometidos por traumas na região facial.

### Referências

- Bates, J.F., Safford, G.O., e Harrison, A. (1975) "A Masticatory function-a review of the literature. The form of the masticatory cycle". *J. Oral Rehabil* 2, p. 281-301.
- Behr, M., Held, P., Leibrock, A. *et al.* (1996) "Diagnostic potential of pseudo-dynamic MRI (CINE mode) for evaluation of internal derangement of the TMJ". *European Journal of Radiology* v. 23, n.3, p. 212-215, Nov.
- COLDET library (2005). <http://photoneffect.com/coldet/>
- Enciso, R., Memon, A., Fidaleo, D. A., Neumann, U. e Mah J. (2003) "The Virtual Craniofacial Patient: 3D Jaw Modeling and Animation". In: *The 11th Annual Medicine Meets Virtual Reality Conference*, p. 65-71.
- Freitas, C.M.D.S., Nedel, L.P., Manssour, I.H., Gavião, J.K., Maciel, A. e Paim, T.C. (2003) "Framework para Construção de Pacientes Virtuais: Uma Aplicação em laparoscopia Virtual." In: *SBC Symposium on Virtual Reality, Ribeirão Preto, SP*, p. 283-296.
- Fushima K., Gallo, L.M., Kerbs, M. e Palla S. (2003) "Analysis of the TMJ intraarticular space variation: a non-invasive insight during mastication". *J. Medical Engineering & Physics*, 25, p. 181-190.
- Gibbs, C. H., Mahan, P. E., Lundeen, H.C., Brehran, K., Walsh, E.K., Sinkowiz, S.L. e Ginsberg, S. B. (1981) "Occlusal Forces during chewing: influences of biting strength and food consistency". *J. Prosthet Dent.*, 46, p. 561-567.
- Gibbs, C.H., Lundeen, H.C. (1982) *Jaw Movements and Forces during chewing and Swallowing and their Clinical Significance*. *Advances in Occlusion*. Boston: John Wright.
- Karlsson, S., Carlsson, G.E. (1990) "Characteristics of mandibular masticatory movement in young and elderly dentate subjects". *J. Dental Research*, 69,473.
- Kitai, N. *et al.* (2004) "Three-dimensional reconstruction of TMJ MR images: a technical note and case report". *The J Craniomandibular Practice*. v.22, n.1, p.77-81.
- Lorensen, W. E. e H. E. Cline. (1987) "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm". *Computer Graphics*. v.21: 163-169, July.

## IV SBQS - V Workshop de Informática Médica

- Maciel, A., Nedel, L. P., Freitas, C. M. D. S. (2002) “Anatomy-Based Joint Models for Virtual Humans Skeletons”. In: Proceedings of Computer Animation, Geneva, Switzerland. p.110-116.
- Mohl, N. D., Zarb, G. A., Carlsson, G. E., Rugh, J. D. (1989) “A Textbook of Occlusion”. Quintessence Publishing Co., Inc., Chicago, USA.
- Oliveira, R.B. (2001) “Desordem Temporomandibular e a artrite reumatóide, estudo de casos em pacientes idosos”. Tese (Doutorado em Odontologia). Faculdade de Odontologia, PUCRS, Porto Alegre. 132f.
- Pullinger, A.G. e White, S.C.( 1995) “Efficacy of TMJ radiographs in terms of expected versus actual findings”. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, v. 79, n. 3, p. 367-74.
- Rao VM, Vinitski, S. (1993) “High resolution spin-echo imaging of the temporomandibular joint”. Magn Reson Imaging. v.11, p.621–624.
- SLICER software (2005). <http://www.slicer.org/>
- Villamil, M. B., Nedel, L. P., Freitas, C.M.D.S. e Maciel, A. (2005) “A Model to Simulate the Mastication Motion at the Temporomandibular Joint”. In: SPIE MEDICAL IMAGING 2005 – Physiology, Function, and Structure from Medical Images. San Diego: SPIE, 2005. v. 6 (to be published).
- VTK Visualization Toolkit (2005). <http://www.vtk.org/>
- Westesson PL. (1996) “Temporomandibular joint and dental imaging”. Neuroimaging Clin N Am. v.6, p.333–355.
- Wood, W. W., Gelfant, H., e Hannam, A.G. (1981) “Effect of occlusal reconstruction on the reproductibility of chewing movements”. J. Prosthet Dent. 46, p. 181-184.