

Reconstrução Panorâmica Automática de Imagens Odontológicas a partir de Tomografia Computadorizada

Paulo Henrique Junqueira Amorim¹, Thiago Franco Moraes¹,
Fábio de Souza Azevedo¹, Jorge Vicente Lopes da Silva¹, Helio Pedrini²

¹Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer
Campinas-SP, Brasil, 13069-901

²Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas
Campinas-SP, Brasil, 13083-852

Abstract. *Computed tomography (CT) plays an important role in medical and dental diagnosis. In Dentistry, the panoramic reconstruction from CT images are commonly used for providing a longitudinal view of the dental arch. This paper describes a method for automatically reconstructing panoramic images of the dental arch from CT images. Experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed method.*

Resumo. *Imagens de tomografia computadorizada (TC) desempenham um papel fundamental em diagnósticos médicos e odontológicos. Em Odontologia, a reconstrução panorâmica a partir de TC é normalmente utilizada por possibilitar a visualização longitudinal da arcada dentária. Este artigo descreve um método para reconstrução automática de imagens panorâmicas da arcada dentária a partir de imagens odontológicas de tomografia computadorizada. Resultados experimentais demonstram a eficácia do método proposto.*

1. Introdução

O avanço contínuo das tecnologias de aquisição de imagens permitiu o surgimento de equipamentos de tomografia computadorizada odontológicos que, quando comparados com os equipamentos de tomografia médicos, emitem uma menor dose de radiação e possuem menor custo de aquisição e operação. Dessa forma, tais equipamentos têm se tornado cada vez mais populares na área odontológica. Apesar de alguns desses equipamentos já incorporarem a técnica de reconstrução panorâmica, há uma parcela significativa de equipamentos que não dispõem deste recurso e, diante disto, os especialistas que utilizam exames provenientes destes equipamentos tornam-se dependentes de pacotes comerciais que normalmente apresentam custo elevado [Nomir and Abdel-Mottaleb 2005].

A reconstrução panorâmica a partir da tomografia computadorizada é bastante utilizada na área odontológica devido à semelhança com a radiografia panorâmica, técnica utilizada desde a década de 1950 [Paatero 1961]. Essa técnica é utilizada principalmente para a visualização da maxila e da mandíbula em uma única imagem.

De acordo com Bomfim [Bomfim 2011], a reconstrução panorâmica a partir da tomografia computadorizada é vantajosa quando comparada com a radiografia panorâmica convencional, pois permite a determinação do número de fatias desejadas, a espessura de cada fatia e a distância entre elas. Além disso, as imagens de tomografia computadorizada não apresentam ampliação ou distorção, características presentes na radiografia panorâmica.

A proposta deste artigo é apresentar um método automático para realizar a reconstrução panorâmica a partir de imagens de tomografia computadorizada. A metodologia é baseada na utilização de operadores morfológicos e métodos de segmentação e filtragem com baixo custo computacional. Resultados experimentais demonstram a eficácia do método proposto.

O texto está organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta conceitos e trabalhos relacionados ao tema sob investigação. A seção 3 descreve a metodologia proposta para reconstrução automática de imagens panorâmicas a partir de tomografias computadorizadas. Os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia são apresentados e discutidos na seção 4. Finalmente, a seção 5 conclui o trabalho e apresenta sugestões para trabalhos futuros.

2. Conceitos e Trabalhos Relacionados

A Tomografia Computadorizada (TC) é uma técnica radiográfica que permite a aquisição volumétrica de imagens de tecidos em regiões de interesse do corpo, facilitando a compreensão de suas estruturas anatômicas.

Em Odontologia, a TC possui várias aplicações [Abrahams 1993, Jain et al. 2003, Vannier et al. 1984], tais como a detecção e localização de patologias, estudo de traumas faciais, planejamento de cirurgias para implantes, visualização de estruturas ósseas da articulação da mandíbula, reconstrução de cortes tomográficos da maxila, entre outras.

A radiografia panorâmica [Donker et al. 2002, Rushton and Horner 1996, Taguchi 2009] é capaz de fornecer uma vista única de toda a dentição e estruturas adjacentes, ossos faciais, regiões da mandíbula e cavidades nasais do paciente de forma planar. Alguns trabalhos realizam a reconstrução automática ou semi-automática de imagens panorâmicas a partir de TC.

O algoritmo proposto por Tohnak et al. [Tohnak et al. 2006] calcula, inicialmente, a projeção do volume por meio da técnica de *Maximum Intensity Projection* (MIP) [Wallis et al. 1989], que originalmente era chamado de *MAP Maximum Activity Projection* (MAP). Em seguida, o usuário deve definir uma máscara binária sob a arcada dentária da projeção gerada. Com base nessa máscara, a linha central que a transpassa horizontalmente e divide a imagem em duas partes é calculada. A partir do eixo médio da imagem, a transformada de Radon [Beylkin 1987] é aplicada. Para gerar a reconstrução panorâmica, apenas os pixels interceptados pela transformada e normais à tangente da linha central são utilizados. Com o uso da transformada de Radon, o resultado se aproxima ao de uma radiografia panorâmica. Além das várias operações numéricas envolvidas na transformada, o método é semi-automático, pois necessita da interação do usuário para selecionar a região da arcada dentária.

Bing et al. [Bing et al. 2011] também realizam a projeção da imagem volumétrica com o método de MIP para fazer a seleção automática da arcada dentária por meio do algoritmo de Otsu [Otsu 1979]. Em seguida, o eixo médio da imagem é obtido por meio do algoritmo de Lu e Wang [Lu and Wang 1986]. A curva de referência da arcada dentária é determinada pelo Método de Ajuste dos Mínimos Quadrados [Bretschler 1995]. Os pixels pertencentes à curva obtida são selecionados, obtendo-se a imagem panorâmica. Apesar de o método ser automático, seu custo computacional ainda é elevado.

3. Metodologia

O método proposto neste trabalho se baseia em apenas uma imagem do volume para obter a curva (parábola) que se aproxima do centro da arcada dentária. Para escolher a imagem correta, aplica-se uma segmentação em todo o volume com o propósito de selecionar somente a região da maxila. A técnica de limiarização [Pedrini and Schwartz 2007] com valores maiores que 1500 HU (*Hounsfield Unit*) [Shetty et al. 2010] é empregada na segmentação da imagem. Cada fatia do exame é analisada automaticamente, realizando-se a contagem dos pixels segmentados. A fatia correspondente à maior contagem é selecionada.

Com o objetivo de conectar regiões levemente separadas na fatia selecionada, aplica-se o operador morfológico de dilatação [Heijmans 1994, Serra 1989] com elemento estruturante de dimensão 20×20 pixels. Após a dilatação da imagem, aplica-se o filtro passa-baixa Gaussiano com $\sigma = 4$ para suavização da borda do objeto. Este passo é necessário para evitar a posterior obtenção de um esqueleto com ramificações, pois idealmente o esqueleto deveria formar um caminho com largura de um pixel.

Em seguida, seleciona-se somente a região da maxila com o algoritmo de seleção do maior componente conexo, utilizando vizinhança-8. Isso se faz necessário pois, em alguns casos, estão presentes pequenos ruídos na imagem. O esqueleto [Maragos and Schafer 1984] da maxila é obtido pela aplicação de operador morfológico. Alguns resultados obtidos a partir da aplicação desses passos da metodologia são ilustrados na Figura 1.

Para aproximar uma curva da arcada dentária, uma parábola é calculada a partir de três pontos selecionados automaticamente em seu esqueleto. Seja $p_1(x_1, y_1)$ o ponto da extremidade esquerda, $p_2(x_2, y_2)$ o da extremidade direita e $p_3(x_3, y_3)$ o ponto de mínimo ou de máximo (dependendo da orientação da concavidade do esqueleto). Com esses três pontos é possível encontrar uma parábola com diretriz paralela ao eixo X e que passe por eles, por meio da equação 1:

$$\begin{vmatrix} x^2 & x & y & 1 \\ x_1^2 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

A parábola oferece simplicidade na sua parametrização e na obtenção de outras parábolas com mesma diretriz, o que se faz necessário para a geração de fatias panorâmicas adicionais. Na Figura 1(f), seis parábolas são mostradas, as quais originarão seis fatias panorâmicas.

Para cada parábola, as coordenadas de seus pixels são extraídas, iniciando-se a varredura da esquerda para a direita caso a concavidade da parábola esteja voltada para cima e, ao contrário, caso a parábola esteja com a concavidade voltada para baixo. As coordenadas obtidas são utilizadas para selecionar os níveis de cinza em cada fatia, gerando a imagem panorâmica. Esse processo é ilustrado na Figura 2.

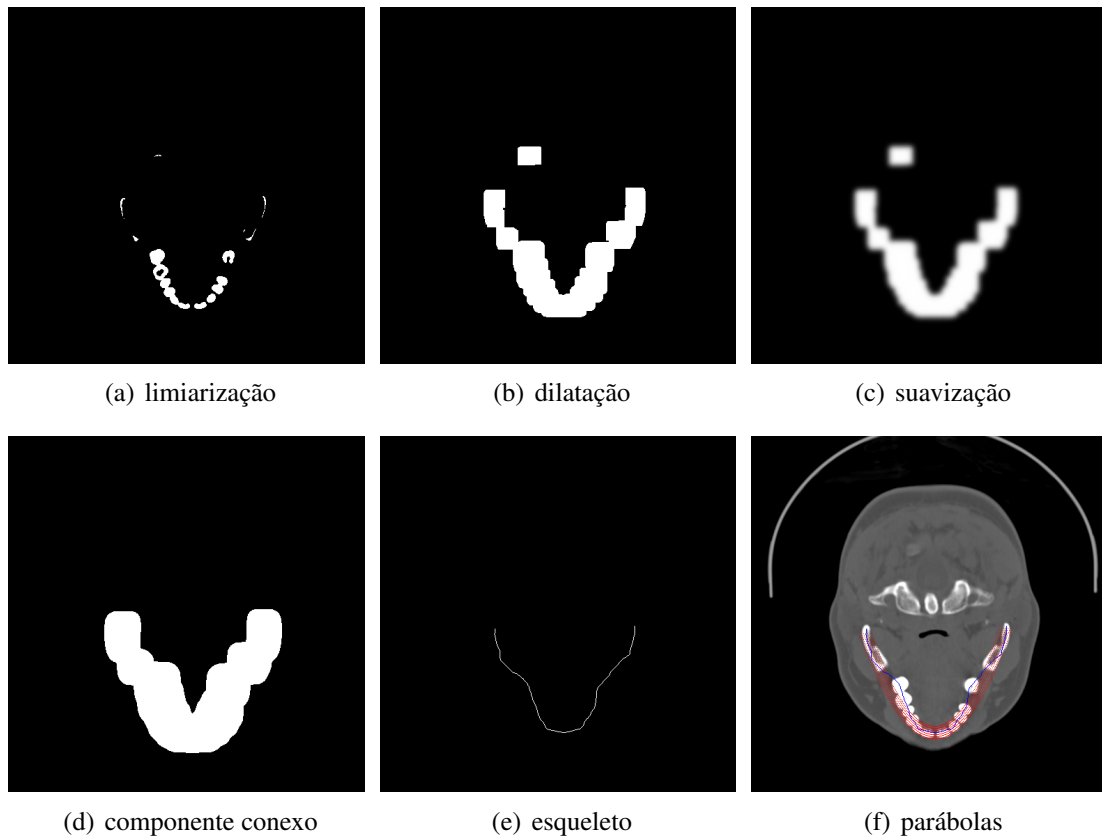


Figura 1. Aplicação da metodologia em imagem odontológica. (a) limiar aplicado para região da maxila; (b) imagem dilatada; (c) imagem após aplicação do filtro Gaussiano; (d) maior componente conexo selecionado e convertido em binário; (e) esqueleto; (f) parábolas.

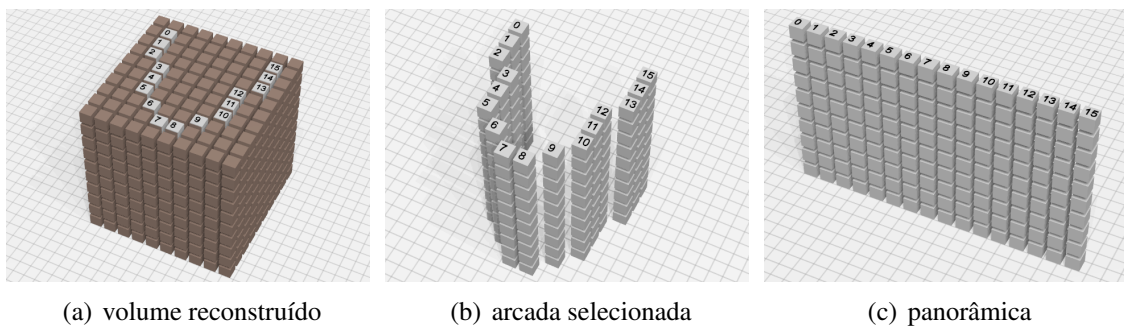


Figura 2. Ilustração da reconstrução de imagens panorâmicas. (a) volume reconstruído e com a arcada selecionada; (b) coordenadas selecionadas da arcada; (c) corte panorâmico reconstruído.

4. Resultados Experimentais

Experimentos foram realizados com imagens de diferentes pacientes. Exemplos de reconstrução panorâmica para alguns cortes são apresentados nas Figuras 3 e 4.

O tempo requerido para a reconstrução foi mensurado em um computador com processador dual core de 2.6 Ghz, 4 GB de memória RAM e com sistema operacional Linux Ubuntu versão 11.10 para arquitetura de 64 bits. A implementação da metodologia

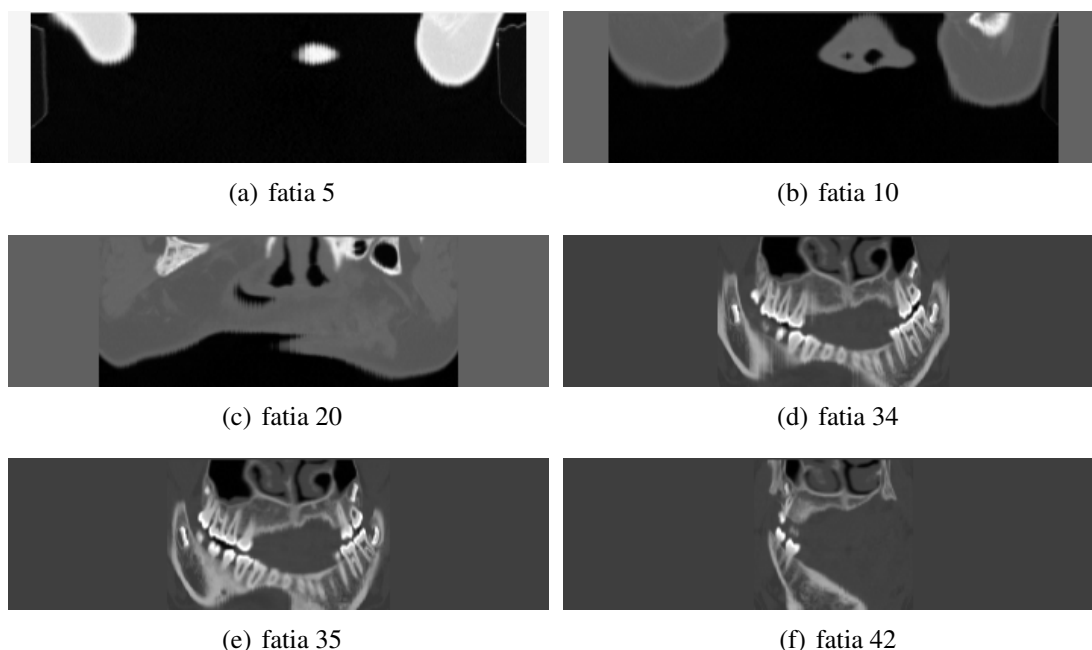


Figura 3. Parte de um conjunto de 60 fatias panorâmicas reconstruídas a partir das imagens do paciente 2 pelo método proposto.

utilizou a linguagem de programação Python em conjunto com as bibliotecas *Scientific Python* [SciPy 2012] e *Visualization Toolkit* [Schroeder et al. 2006].

A medida de tempo é iniciada a partir do momento em que o algoritmo busca a melhor fatia para gerar a parábola até o momento em que é finalizada a reconstrução da panorâmica. Os resultados obtidos para imagens de seis pacientes diferentes são apresentados na Tabela 1, em que, além do tempo computacional requerido para a geração dos cortes panorâmicos, são mostrados o número de fatias e as dimensões (em pixels) de cada conjunto de dados.

Paciente	Número de fatias	Dimensão	Número de panorâmicas	
			30 imagens	60 imagens
1	79	512×512	2,2s	2,7s
2	107	512×512	2,6s	3,3s
3	149	512×512	2,8s	3,5s
4	269	512×512	5,5s	6,2s
5	520	640×640	10,8s	15,9s
6	590	512×512	17,4s	19,7s

Tabela 1. Tempo requerido para a geração de 30 e 60 cortes panorâmicos a partir de diferentes quantidades de fatias.

A projeção da média dos pixels foi realizada para as reconstruções geradas. Imagens com esse tipo de projeção são mostradas nas Figuras 5 e 6.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresenta um método automático para a reconstrução de imagens panorâmicas odontológicas a partir de um conjunto de imagens de tomografia computa-

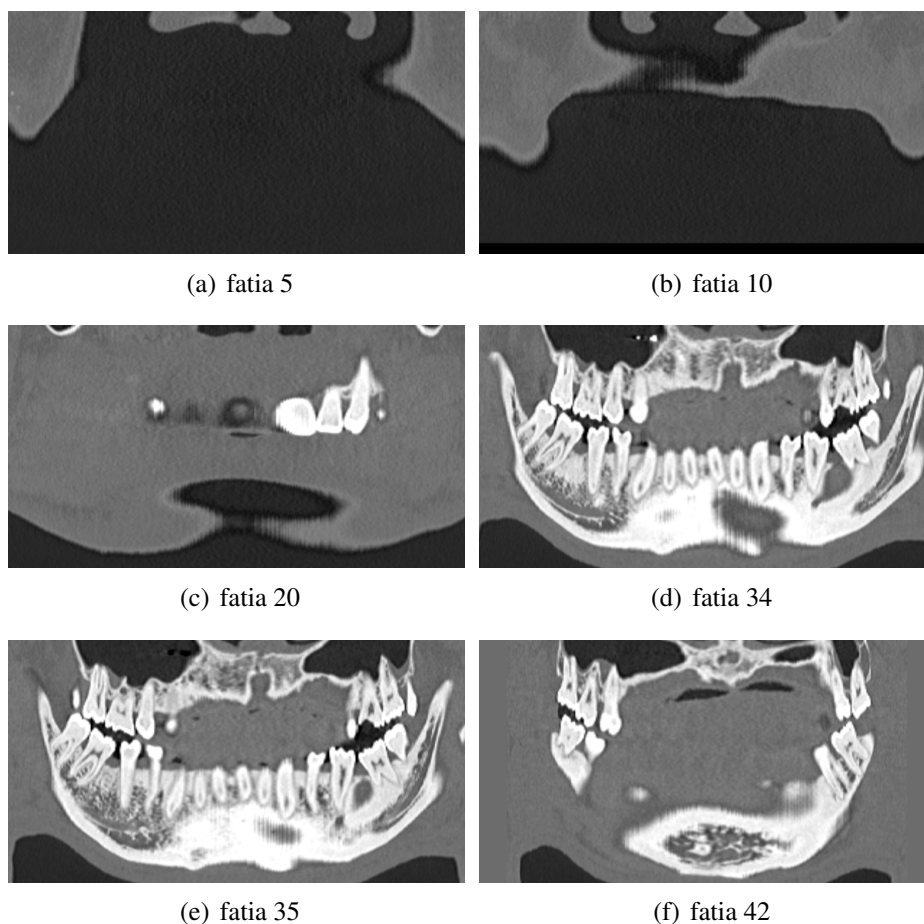


Figura 4. Parte de um conjunto de 60 fatias panorâmicas reconstruídas a partir das imagens do paciente 6 pelo método proposto.

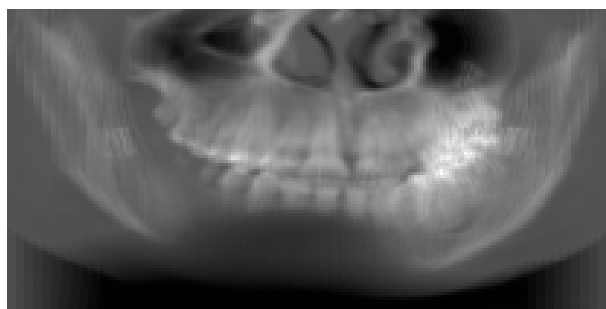


Figura 5. Projeção da média dos pixels composta por 60 fatias panorâmicas reconstruídas a partir das imagens do paciente 2.

dorizada de pacientes.

De acordo com os resultados experimentais obtidos, a metodologia proposta se mostrou bastante eficaz, servindo como uma ferramenta de apoio importante na área odontológica. A grande vantagem do método é sua fácil implementação e o seu custo computacional reduzido, visto que a reconstrução é realizada apenas uma vez para cada paciente.

Em trabalhos futuros, pretende-se empregar outros tipos de curva



Figura 6. Projeção da média dos pixels composta por 60 fatias panorâmicas reconstruídas a partir das imagens do paciente 6.

para aproximação do esqueleto da maxila, por exemplo, curvas B-splines e Bézier [Farin 1992, Prautzsch et al. 2007], permitindo maior adequação das características de cada paciente. O uso da transformada de Hough [Hough 1962] para detecção da arcada dentária será investigado. Finalmente, pretende-se avaliar os resultados obtidos com o método proposto em conjunto com especialistas da área de Odontologia.

6. Agradecimentos

Os autores são gratos ao Ministério da Saúde, à FAPESP, ao CNPq e à CAPES pelo apoio financeiro.

Referências

- Abrahams, J. (1993). The Role of Diagnostic Imaging in Dental Implantology. *Radiologic Clinics of North America*, 31:163–180.
- Beylkin, G. (1987). Discrete Radon Transform. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 35(2):162–172.
- Bing, H., Liang, C., Zhen, C., Fang, P., Deyu, L., Shuyu, L., and Yubo, F. (2011). An Automatic Method of Synthesizing Panoramic Radiograph by Unwrapping Dental CT Image. In *International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer*, pages 1094–1096, Jilin, China.
- Bomfim, R. T. (2011). Avaliação da Acurácia de Reconstruções Panorâmicas Geradas a partir de Tomografia Computadorizada: Estudo Experimental in Vitro com Mandíbulas Secas Humanas. Master's thesis, Universidade Federal da Bahia.
- Bretscher, O. (1995). *Linear Algebra With Applications*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, Estados Unidos.
- Donker, A., van Merkesteyn, J., Bredius, R., and van Weel-Sipman, M. (2002). Value of Panoramic Radiographs in Paediatric Pre-Bone Marrow Transplantation Oral Evaluation. *International Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 31:170–172.
- Farin, G. (1992). *Curves and Surfaces for Computer-Aided Geometric Design - A Practical Guide*. Academic Press, Inc.
- Heijmans, H. J. A. M. (1994). *Morphological Image Operators*. Academic Press, Nova York, NY, Estados Unidos.

- Hough, P. V. C. (1962). A Method and Means for Recognizing Complex Patterns. *US Patent 3,069,654*.
- Jain, A., Chen, H., , and Minut, S. (2003). Dental Biometrics: Human Identification Using Dental Radiographs. In *Fourth International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication*, pages 429–437, Guildford, Reino Unido.
- Lu, H. E. and Wang, P. S. P. (1986). A Comment on a Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns. *Communications of the ACM*, 29(3):239–242.
- Maragos, P. and Schafer, R. (1984). Morphological Skeleton Representation and Coding of Binary Images. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, volume 9, pages 523–526.
- Nomir, O. and Abdel-Mottaleb, M. (2005). A System for Human Identification from X-ray Dental Radiographs. *Pattern Recognition*, 38:1295–1305.
- Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 9(1):62–66.
- Paatero, Y. (1961). Pantomography and Orthopantomography. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 14(8):947 – 953.
- Pedrini, H. and Schwartz, W. (2007). *Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações*. Editora Thomson.
- Prautzsch, H., Boehm, W., and Paluszny, M. (2007). *Bezier and B-Spline Techniques*. Springer-Verlag.
- Rushton, V. and Horner, K. (1996). The Use of Panoramic Radiology in Dental Practice. *Journal of Dentistry*, 24:185–201.
- Schroeder, W., Martin, K., Martin, K., and Lorensen, B. (2006). *The Visualization Toolkit*. Prentice Hall PTR.
- SciPy (2012). Scientific Tools for Python. <http://www.scipy.org/>.
- Serra, J. (1989). *Image Analysis and Mathematical Morphology: Theoretical Advances*. Academic Press, Londres, Reino Unido.
- Shetty, D., Urs, A., and Kaur, R. (2010). A Radiographic Technique for Differentiating Enamel and Dentin in Odontogenic Tumors. *The Internet Journal of Radiology*, 12(1).
- Taguchi, A. (2009). Panoramic Radiographs for Identifying Individuals with Undetected Osteoporosis. *Japanese Dental Science Review*, 45:109–120.
- Tohnak, S., Mehnert, A., Crozier, S., and Mahoney, M. (2006). Synthesizing Panoramic Radiographs by Unwrapping Dental CT Data. In *28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pages 3329–3332.
- Vannier, M., Marsh, J., and Warren, J. (1984). Three-Dimensional CT Reconstruction for Craniofacial Surgical Planning and Evaluation. *Radiology*, 150:179–184.
- Wallis, J., Miller, T., Lerner, C., and Kleerup, E. (1989). Three-Dimensional Display in Nuclear Medicine. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 8(4):297–230.