

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO PLANO OCLUSAL  
COM MÉTODOS DE VISÃO COMPUTACIONAL**

FILIPPI DAMASCENO VIANNA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Márcio Sarroglia Pinho

Porto Alegre

2012

V617o Vianna, Filipi Damasceno  
Obtenção dos parâmetros do plano oclusal com métodos de  
visão computacional / Filipi Damasceno Vianna. – Porto Alegre,  
2012.  
84 f.

Diss. (Mestrado) – Fac. de Informática, PUCRS.  
Orientador: Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho.

1. Informática. 2. Computação gráfica. 3. Informática na  
Odontologia. 4. Oclusão Dentária. II. Pinho, Márcio Sarroglia.  
III. Título.

CDD 006.6

**Ficha Catalográfica elaborada pelo  
Setor de Tratamento da Informação da BC-PUCRS**



## TERMO DE APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação intitulada "Obtenção dos Parâmetros do Plano Oclusal com Métodos de Visão Computacional", apresentada por Filipi Damasceno Vianna como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação, Sistemas Interativos e de Visualização, aprovada em 10/08/2012 pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Márcio Sarroglia Pinho –  
Orientador

PPGCC/PUCRS

Profa. Dra. Soraia Raupp Musse –

PPGCC/PUCRS

Profa. Dra. Luciane Macedo de Menezes -

PPG-Odontologia/PUCRS

Homologada em 10/01/2013, conforme Ata No. 001 pela Comissão Coordenadora.

Prof. Dr. Paulo Henrique Lemelle Fernandes  
Coordenador.

**PUCRS**

**Campus Central**

Av. Ipiranga, 6681 – P32- sala 507 – CEP: 90619-900

Fone: (51) 3320-3611 – Fax (51) 3320-3621

E-mail: [ppgcc@pucrs.br](mailto:ppgcc@pucrs.br)

[www.pucrs.br/facin/pos](http://www.pucrs.br/facin/pos)

## Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Miriam.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa, Miriam, meu filho Gustavo, aos meus pais Neuci e Ernesto e aos familiares, Maria da Glória, Hipólito, Jacqueline, Solange, Henrique e Igor, que estiveram presentes durante todo o tempo dando força e ânimo, sempre acreditando no resultado do trabalho, não deixando de agradecer a paciência de todos.

Ao meu orientador, Prof. Márcio Pinho, pelo incentivo, amizade, auxílio e horas de dedicação dispensadas no acompanhamento e direcionamento das atividades realizadas durante o desenvolvimento deste projeto.

Aos colegas do IDEIA – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Adriana, Arno, Berenice, Eduardo, Glademir, Henrique, Luis Fernando, Mário, Sérgio, Wagner e em especial ao diretor Carlos Nelson que sempre se mostraram compreensivos com relação aos horários e atividades.

Ao professor da Faculdade de Odontologia Renato Rosa e à mestrande Rejane que, com muita paciência, ensinaram um pouco de odontologia a um engenheiro e ajudaram com todos os equipamentos e procedimentos odontológicos para a realização deste trabalho.

A todos os amigos e amigas que estiveram presentes durante este período de grande amadurecimento em minha vida.

# OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO PLANO OCLUSAL COM MÉTODOS DE VISÃO COMPUTACIONAL

## RESUMO

O plano oclusal é um plano imaginário que passa entre as arcadas dentárias inferior e superior e é utilizado como referência para avaliações em diversos tipos de tratamentos odontológicos. A correta orientação deste plano é importante para o sucesso do tratamento pois é a partir deste, por exemplo, que uma cirurgia pode ser planejada. O planejamento dos tratamentos é feito, com muita frequência, utilizando-se modelos físicos (de gesso) ou virtuais que replicam as arcadas dentárias e os dentes do paciente. Esta replicação, entretanto, esbarra no problema de como registrar no paciente a orientação do plano oclusal e transportá-la para o modelo. Motivado por este problema o presente trabalho desenvolveu um processo para obter tanto uma referência antropométrica, quanto os ângulos que relacionam o plano oclusal à esta referência. O processo apresentado neste trabalho é baseado na aplicação de técnicas de visão computacional sobre duas imagens fotográficas da cabeça do paciente, uma de frente e outra de perfil. Também é apresentado um método para o transporte destas informações para um modelo de gesso e virtual.

**Palavras Chave:** Visão computacional, oclusão, odontologia.

# OBTAINING OCCLUSAL PLANE PARAMETERS WITH COMPUTER VISION METHODS

## ABSTRACT

The occlusal plane is an imaginary plane that passes between the upper and lower dental arches and is used as reference for assessments in several kinds of dental treatment. The correct orientation of this plan is important for a successful treatment because it is from this orientation, for example, that a surgery can be planned. The treatment planning is often done, using virtual or physical models (plaster) to replicate the dental arches and the patient's teeth. This replication, however, reach the problem of how to register the patient's occlusal plane orientation and transport it to the model. Motivated by this problem this paper has developed a process to obtain both an anthropometric reference, as the angles relating the occlusal plane to this reference. The process presented in this work is based on the application of computer vision techniques on two images of the patient's head, one from the front and another from the profile. It also presents a method to transport this information to a plaster model and virtual.

**Keywords:** Computer vision, occlusion, dentistry.

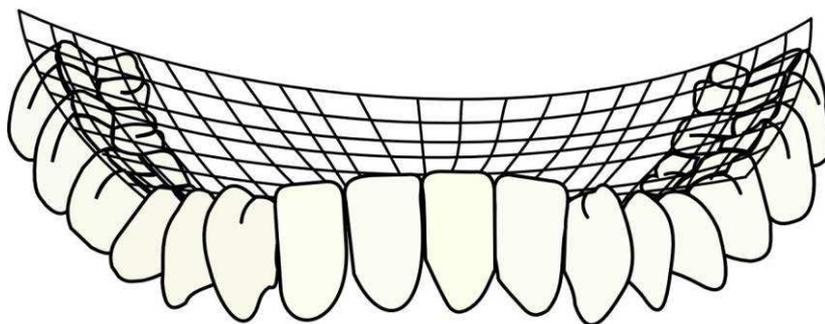
# SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>23</b>
1.1. Motivação .....	29
1.2. Organização do Texto .....	30
<b>2. Trabalhos Relacionados .....</b>	<b>33</b>
2.1. Nomenclatura dos ângulos do plano oclusal .....	33
2.2. Método tradicional .....	34
2.3. Régua de Fox .....	35
2.4. Imagem digital de arco facial em conjunto com Régua de Fox .....	39
2.5. Teleradiografia de perfil .....	41
2.6. Montagem em articulador virtual .....	42
2.7. Tomografia computadorizada e reconstrução 3D.....	47
<b>3. Método Proposto .....</b>	<b>51</b>
3.1. Obtenção do Plano de Frankfurt.....	51
3.1.1. Obtenção do Plano de Frankfurt com Segmentação do LASER.....	56
3.1.2. Obtenção do Plano de Frankfurt com Detector de Faces .....	58
3.1.3. Obtenção do Plano de Frankfurt com o mouse.....	59
3.2. Transporte do plano oclusal para fora da boca .....	60
3.3. Obtenção dos ângulos do marcador.....	63
3.4. Exemplos de Aplicação do Método com Pacientes .....	66
3.5. Exemplos de Aplicação do Método com Articulador.....	67
<b>4. Simulação de pacientes com deformidades .....</b>	<b>69</b>
<b>5. Avaliação .....</b>	<b>73</b>
5.1. Resultados numéricos .....	75
<b>6. Validação .....</b>	<b>77</b>
<b>7. Conclusões e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>81</b>
<b>8. Referências .....</b>	<b>83</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo dos profissionais de Odontologia, seja um protético ou um cirurgião dentista, é, ao final dos tratamentos, proporcionar aos pacientes uma saúde bucal com um bom nível de conforto, funcional, estético e, conseqüentemente, psicológico. Para que todos esses objetivos possam ser atingidos, alguns fatores devem ser observados. Dentre estes podem ser citados, a relação entre a mandíbula e a articulação temporomandibular, uma correta orientação do plano oclusal e a correta oclusão entre as arcadas superior e inferior.

O termo oclusão, em Odontologia, define a forma como os dentes superiores se encaixam nos inferiores durante a mordida. Este encaixe define a chamada **superfície de oclusão** que é uma superfície côncava posicionada entre os dentes (Figura 1).



**Figura 1: Superfície de Oclusão (Fonte: [DAW08]).**

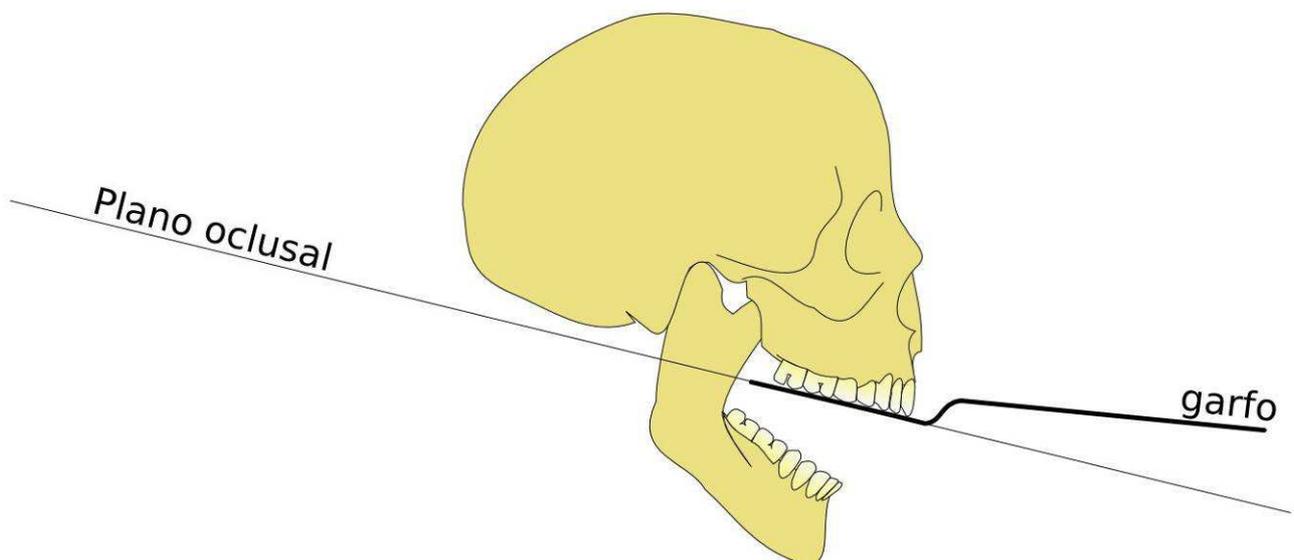
Para registrar este encaixe, os dentistas utilizam placas de cera (Figura 2) que, ao serem mordidas pelo paciente, registram em ambos os lados o encaixe dos dentes. Com esse registro em cera é possível reproduzir o encaixe dos dentes do paciente em modelos de gesso.



**Figura 2: Lâmina de cera para registro oclusal**

Além da forma de encaixe entre os dentes, é importante registrar o chamado “plano oclusal” que serve como uma referência para a orientação da mordida em relação ao crânio do paciente. O uso deste plano, embora seja uma simplificação da superfície oclusal, registra informação suficiente para prática odontológica.

Essa superfície é obtida utilizando-se um dispositivo em forma de garfo, que é introduzido na boca do paciente encostado apenas nos dentes superiores, de modo que este garfo (plano) fique apoiado nos dentes superiores, em pelo menos três pontos, gerando um plano de referência que define o plano oclusal.

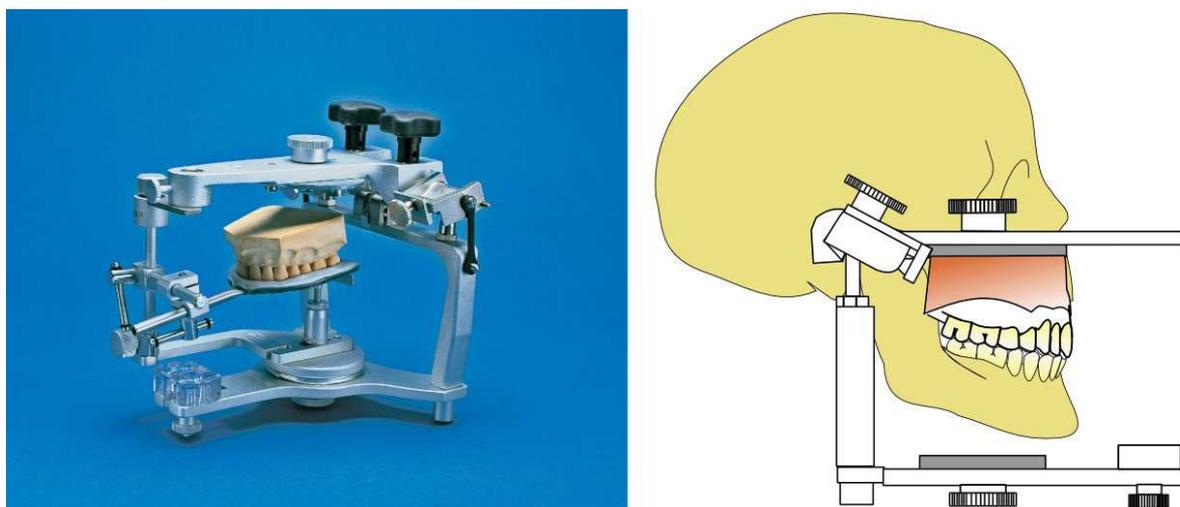


**Figura 3: Método para obtenção do plano de oclusão.**

As informações do encaixe entre os dentes e orientação do plano oclusal são usadas na clinica odontológica, entre outras coisas, para permitir construção de modelos

de gesso, que facilitam o planejamento do tratamento viabilizando-o mesmo na ausência do paciente.

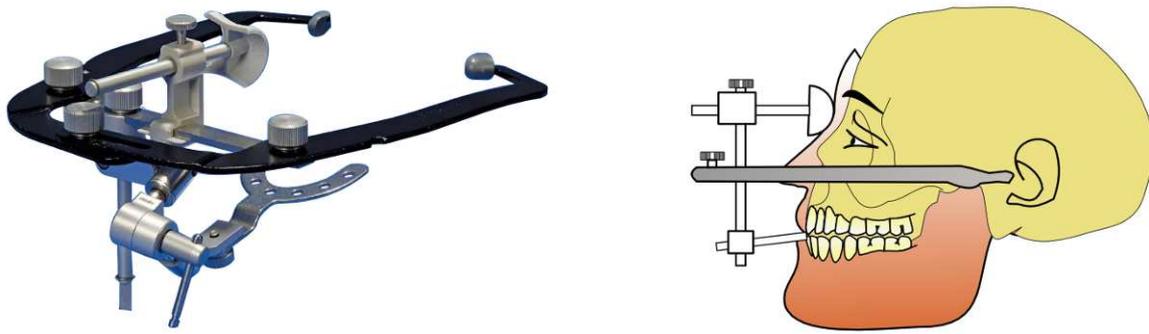
A criação de um modelo de gesso inicia-se pela obtenção do molde (negativo) dos dentes. A seguir, estes negativos são preenchidos com gesso e por fim estes modelos de gesso, retirados do molde, podem, ou não, ser montados em equipamentos chamados **articuladores** (Figura 4 à esquerda). Estes equipamentos permitem reproduzir o movimento da articulação temporomandibular do paciente e a correta oclusão do paciente (Figura 4 à direita). Para possibilitar o alinhamento das duas arcadas é usada a placa de cera, mencionada anteriormente.



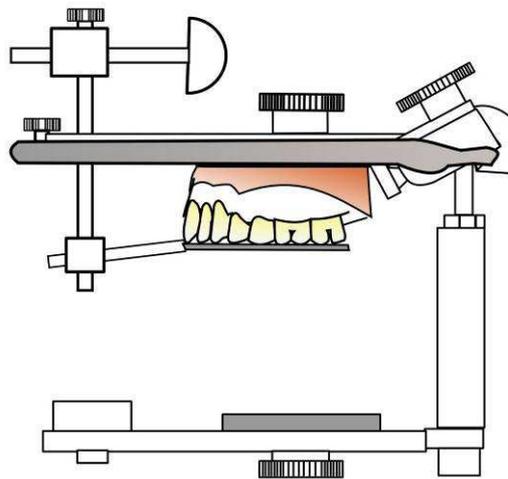
**Figura 4: Articulador.**

Dependendo do tratamento a ser realizado e da condição do paciente, estes modelos devem ser arquivados para consultas durante o tratamento. Por exemplo, em tratamentos muito longos, que demorem muitos meses ou até anos ou quando se deve esperar o paciente parar de crescer (entrar na fase adulta) para que se possa realizar uma correção definitiva.

Para a montagem do modelo de gesso no articulador, o profissional utiliza um equipamento chamado **arco facial** (Figura 5 à esquerda) que, deve ser montado com informações medidas de cada indivíduo (Figura 5 à direita), permite transportar as relações entre o plano oclusal e a articulação temporomandibular, conforme Figura 6.



**Figura 5: Arco facial**

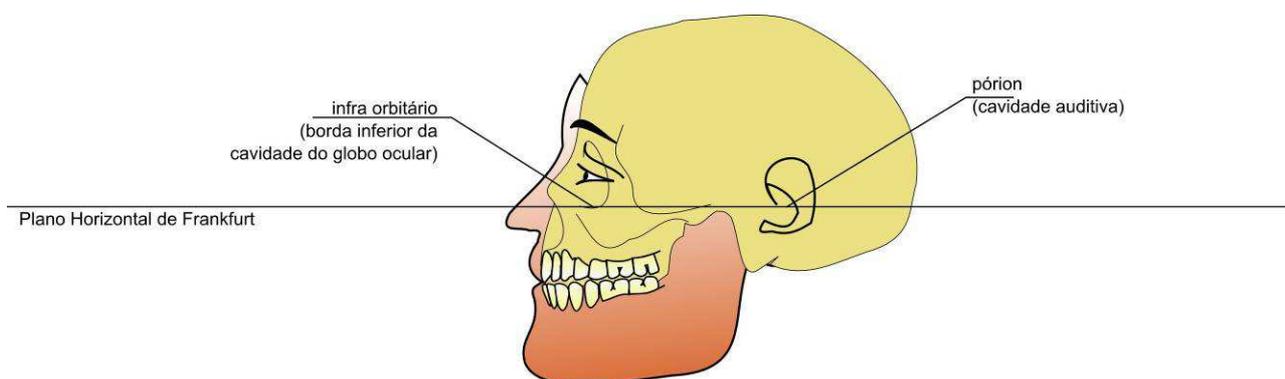


**Figura 6: Arco facial montado no articulador.**

Para o correto transporte das relações entre plano oclusal e a articulação temporomandibular, do paciente para o articulador, são utilizados os chamados **marcadores cefalométricos**, de acordo com o tipo de articulador utilizado. No caso de um articulador do tipo arcon como o da Figura 4, é usado o chamado Plano Horizontal de Frankfurt<sup>1</sup>, que foi inicialmente concebido para a orientação de crânios em antropologia no final do século XIX [FER94]. O plano de Frankfurt é obtido através dos pontos pórrions (cavidades auriculares) e dos infra-orbitários (base inferior da cavidade ocular no crânio), conforme a Figura 7.

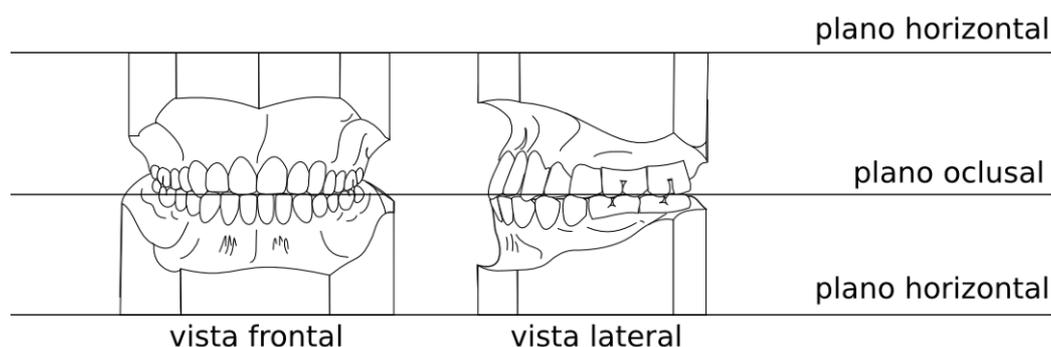
---

<sup>1</sup> Definido no congresso mundial de antropologia em Frankfurt na Alemanha em 1884 [LEH05].



**Figura 7: Pontos que definem o Plano de Frankfurt**

Os modelos de gesso são então arquivados para o registro do histórico do tratamento. O formato destes modelos, chamados de **Modelos de Arquivo**, é normatizado/padronizado e, sendo, o plano oclusal registrado como sendo paralelo ao plano horizontal, conforme mostra Figura 8.



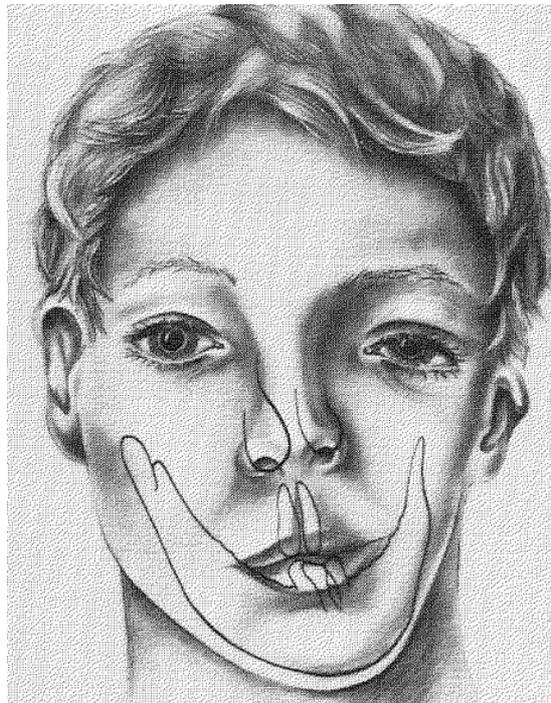
**Figura 8: Padrão dos Modelos de Arquivo.**

Outro recurso utilizado na prática odontológica é a montagem em um articulador virtual. Para isto, são criados modelos 3D dos modelos de gesso<sup>2</sup>, podendo então ser arquivados em meio eletrônico, assim como os modelos de gesso físicos também são arquivados. Estes modelos 3D podem ser montados em articuladores virtuais, que são softwares específicos desenvolvidos para simular articuladores odontológicos.

Porém, nem todos os pacientes possuem o plano oclusal paralelo ao solo. Na verdade, em pacientes normais, existe uma inclinação média de seis graus entre o plano oclusal e o plano horizontal. Nestes casos, esta inclinação pode ser desprezada.

<sup>2</sup>Os modelos 3D são obtidos, em geral, através de digitalizadores 3D mecânicos ou à LASER.

Por outro lado, quando o paciente apresenta alguma deformidade, como na Figura 9, o ângulo é maior e esta diferença pode prejudicar o correto planejamento dos procedimentos odontológicos.



**Figura 9: Paciente com deformidade severa (fonte [KAB81]).**

Na montagem correta em articulador a informação da orientação do plano oclusal do paciente pode ser preservada, mesmo em casos de pacientes com deformidades severas. Estas montagens, porém, não são arquivadas visto que o articulador deve ser reutilizado em outros modelos. A remoção do modelo de gesso do articulador acaba destruindo a informação de referência do plano oclusal, uma vez que o modelo é preso com gesso em bases para fixação de modelos (Figura 10), fornecidas com os articuladores. Esses modelos são então arquivados de forma padronizada, com o plano oclusal paralelo ao plano horizontal.

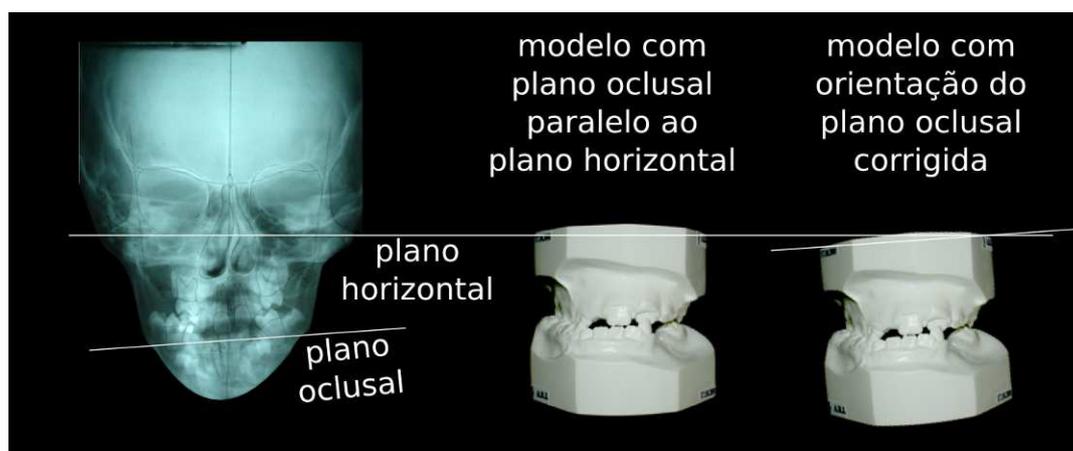
Na Figura 11, por exemplo, observa-se à esquerda a radiografia de um paciente com uma deformidade. Ao centro, observa-se o modelo de gesso deste paciente com o plano oclusal orientado paralelo ao plano horizontal e, à direita, o modelo orientado da forma correta. Este tipo de situação pode induzir a erros no planejamento de algum procedimento no qual o profissional responsável tenha acesso apenas a esse tipo de modelo.

Existem técnicas para contornar o problema da orientação do plano oclusal em modelos reais e virtuais, estas técnicas, apresentadas no capítulo 2, têm, entretanto, um

custo elevado ou são pouco práticas para serem utilizadas na prática dos consultórios de odontologia.



**Figura 10: Articulador, bases de fixação e modelo montado.**



**Figura 11: Radiografia e modelos de gesso.**

### 1.1. Motivação

Motivado por este problema da obtenção das informações de orientação do plano oclusal o presente trabalho desenvolveu um método baseado na aplicação de técnicas de visão computacional sobre duas imagens fotográficas da cabeça do paciente, uma frontal e outra lateral. Durante a obtenção destas imagens, o paciente utiliza uma espécie de marcador preso no mesmo garfo utilizado com o arco facial (Figura 12). A partir das imagens são aplicados algoritmos de visão computacional e são obtidos os ângulos do marcador, indicando os parâmetros de orientação do plano oclusal.

Os parâmetros do plano oclusal podem então ser usados tanto em um articulador real quanto virtual.



**Figura 12: Imagens utilizadas no método proposto**

Para o caso de um articulador virtual, os ângulos podem ser informados diretamente em um software, sem que o modelo precise ser montado em um articulador real previamente. Para o caso de um articulador real, foi desenvolvido um dispositivo para que um modelo de gesso padronizado, ou seja, com o plano oclusal paralelo ao plano do solo, possa ser montado neste dispositivo com os ângulos do plano oclusal respeitando os ângulos do paciente.

Para a validação do método desenvolvido, foram utilizados três modelos, simulando deformidades, montados em articulador. Não foram usados pacientes reais com deformidades, porém, como o articulador é um equipamento que permite reproduzir o movimento da articulação temporomandibular do paciente e o correto encaixe dos dentes, ele pode ser utilizado para medir os ângulos do plano oclusal em modelos de gesso da mesma forma que se mede em pessoa.

## **1.2. Organização do Texto**

No capítulo a seguir são apresentadas algumas das técnicas descritas na literatura utilizadas para a avaliação dos ângulos de inclinação do plano oclusal. Para cada técnica é feito um breve comentário referente ao seu uso em termos de praticidade e precisão.

No capítulo 3 é apresentado um método, desenvolvido neste trabalho, baseado em visão computacional para a obtenção dos parâmetros do plano oclusal. São descritas as técnicas utilizadas para a obtenção do Plano de Frankfurt, para a transferência do

plano oclusal para a face, isto é, visível pela câmera, e para a obtenção dos ângulos do plano oclusal em relação ao Plano de Frankfurt.

O capítulo 4 explica como foram realizadas as medidas em modelos montados em articulador simulando pacientes com deformidades. Uma avaliação quantitativa dos resultados obtidos com o método proposto é apresentada, no capítulo 5, enquanto no capítulo 6 é proposta uma forma de validar os dados medidos com o método proposto, replicando os mesmos em Modelos de Arquivo físicos e virtuais.

Por fim, no capítulo 7 é feita uma avaliação qualitativa dos resultados alcançados e são propostos trabalhos futuros com possíveis evoluções do método proposto.

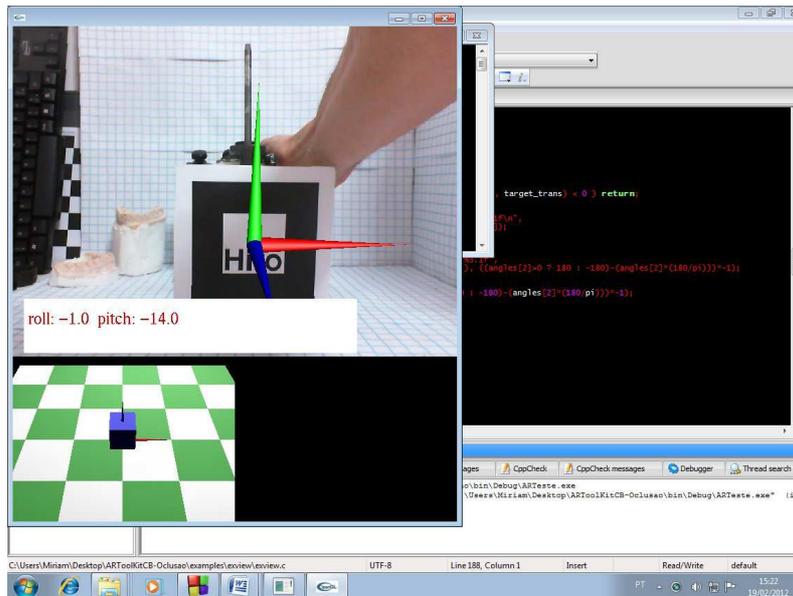
## 7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi explorado um método de visão computacional prático, de baixo custo e efetivo para a obtenção dos parâmetros do plano oclusal causando o mínimo desconforto ao paciente. O erro de medida alcançado foi da ordem de 0,3 graus em uma aplicação real e 0,7 graus em simulações de deformidades em modelos montados em articulador. Este erro pode ser reduzido melhorando a construção do dispositivo de obtenção das medidas e, até mesmo, alterando a cadeira utilizada pelo paciente durante os experimentos, para que o mesmo possa ficar em uma posição relaxada, reduzindo a movimentação de sua cabeça durante o ajuste do LASER que deve ser posicionado para indicar o Plano de Frankfurt.

Adicionalmente uma vantagem do método é que as imagens adquiridas podem compor o arquivo do paciente, juntamente com os modelos e radiografias, de modo que múltiplas imagens podem ser tomadas ao longo de um dado tratamento.

Duas limitações deste sistema puderam ser identificadas, sendo uma delas a necessidade do operador posicionar a cabeça do paciente e a marcação manual do Plano de Frankfurt e a segunda, a necessidade de duas câmeras.

Em trabalhos futuros sugere-se para superar estas limitações da identificação automática do Plano de Frankfurt com um reconhecimento automático da linha interpupilar e da linha projetada no rosto do paciente. Apesar da necessidade de duas câmeras não ser uma limitação tão crítica, esta pode ser superada utilizando um marcador de realidade aumentada e mapeando o mesmo tridimensionalmente. Testes iniciais já foram realizados (Figura 64), porém com resultados numéricos ainda não satisfatórios, provavelmente devido a falta de uma referência lateral.



**Figura 64: Teste preliminar com marcador de realidade aumentada.**

Outro aspecto que pode ser explorado em trabalhos futuros é a utilização de um volume maior de pacientes que permitiria uma melhor validação numérica, além de uma oportunidade para refinar o treinamento do classificador Haar para a detecção do Plano de Frankfurt.

Finalmente, as técnicas de visão computacional utilizadas para a detecção do marcador antropométrico e do dispositivo “marcador” se mostraram bastante eficientes e robustas o suficientes para o uso clínico.

## 8. REFERÊNCIAS

- [3SH10] 3Shape A/S. "3Shape Orthodontics System 2010 User Manual". Capturado em: [http://www.3shapedental.com/media/666611/Orthodontics%20Manual%202010\\_Low\\_res.pdf](http://www.3shapedental.com/media/666611/Orthodontics%20Manual%202010_Low_res.pdf), Julho 2012.
- [BRA00] Bradski, G. "The OpenCV Library". *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, vol. 25, Nov 2000, pp. 120, 122 -125.
- [CAN86] Canny J, "A computational approach to edge detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, Nov 1986, pp. 679 -714.
- [CAR04] Cardoso, A.; Lamounier, E. "Realidade Virtual Uma abordagem Prática Livro dos Minicursos VII Symposium on Virtual Reality". São Paulo: Editora Mania de Livro, 2004, 326p.
- [CHA06] Chan C. "Architecting the Occlusal Plane". *Continuum*, vol. 19, Mai 2006, pp. 3-8.
- [COU97] Cousley, R.; Calvert, L. "Current concepts in the understanding and management of hemifacial microsomia". *British Journal of Plastic Surgery*, vol. 50, Out 1997, pp. 536 -551.
- [DAW08] Dawson, P. "Oclusão Funcional - Da ATM ao Desenho do Sorriso". São Paulo: Livraria Santos Editora Ltda, 2008, 1 Ed, 632p.
- [DUD72] Duda, O.; Hart, E. "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures," *Communications of the Association for Computing Machinery*, vol. 15, Jan 1972, pp. 11 -15.
- [FER94] Ferrario, V.; Sforza, C.; Germanò, D.; Dalloca, L.; Miani, A. "Head posture and cephalometric analyses: An integrated photographic/radiographic technique", *The Journal of Prosthetic Dentistry*, vol. 106, Set 1994, pp. 257 -264.
- [HIN11] Hindocha, A.; Vartak, V.; Bhandari, A.; Dudani, M. "A Cephalometric Study to Determine the Plane of Occlusion in Completely Edentulous Patients: Part I". *Journal of the Indian Prosthodontic Society*, vol. 10, Dez 2011, pp. 203 -207.
- [HOU59] Hough, P. "Machine analysis of bubble chamber pictures". In: International Conference on High Energy Accelerators and Instrumentation, 1959, pp. 554 -556.
- [JAI89] Jain, A. "Fundamentals of Digital Image Processing". Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1981, 569p.
- [KAB81] Kaban, L.; Mulliken, J.; Murray, J. "Three-Dimensional Approach To Analysis and Treatment of Hemifacial Microsomia". *Cleft Palate Journal*, vol. 18, Abr 1981, pp. 90-99.
- [LEH08] Lehmann, K.; Hellwig, E. "Zahnärztliche Propädeutik". Auflage: Elsevier, Urban und Fischer, 2005, Ed 10, 322p
- [MAR82] Marr, D. "Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information", New York: W.H. Freeman and Company, 1982, 397p.
- [PAC10] Pacheco, M.; Rezende, R.; Bertollo, R.; Gonçalves, G.; Santos, A. "Condylarhyperactivity: Diagnosis and treatment – case reports". *Dental Press Journal of Orthodontics*, vol. 15, Jul-Ago 2010, pp. 77 -83.

- [PER11] Pérez, C. "TiltMeter - Advanced Level and Inclinator" . Capturado em: <http://itunes.apple.com/br/app/tiltmeter-advanced-level-inclinometer/id391287447?mt=8>, Julho 2012.
- [PET09] Petričević, N.; Guberina, M.; Ćelić, R.; Mehulić, K.; Krajnović, M.; Antonić, R.; Borčić, J.; Čelebić, A. "Use of digital photography in the reconstruction of the occlusal plane orientation". *MedicinskiGlasnik*, vo.l 6, Ago 2009, pp. 243 -248.
- [SMA05] Smart J, Hock K, Csomor S. "Cross-Platform GUI Programming with wxWidgets". Indiana: R.R. Donnelley & Sons in Crawfordsville, 2005, 744p.
- [SOL09] Solaberrieta, E.; Etxaniz, O.; Minguez, R.; Muniozguren, A. "Design of a Virtual Articulator for Simulation and Analysis of Mandibular Movements in Dental CAD/CAM". In: CIRP Design Conference, 2009, 8p.
- [VIO01] Viola, P.; Jones, M. "Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features". In: Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001, 9p.
- [XIA10] Xia, J.; Gateno, J.; Teichgraeber, J. "A New Clinical Protocol to Evaluate Cranio-maxillofacial Deformity and to Plan Surgical Correction" *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, vol. 67, Out 2010, pp. 2093 –2106.