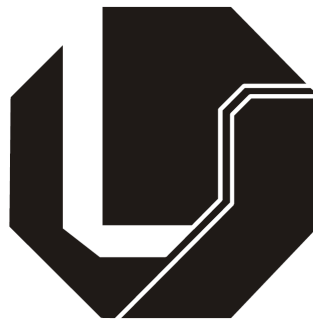


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



**SISTEMA DE AUXÍLIO VISUAL DO REPOSICIONAMENTO ÓSSEO POR MEIO
DA CIRURGIA ORTOGNÁTICA.**

GIULIANO DINIZ DE MORAIS

Uberlândia – MG
Dezembro de 2013

GIULIANO DINIZ DE MORAIS

**SISTEMA DE AUXILIO VISUAL DO REPOSICIONAMENTO ÓSSEO POR MEIO
DA CIRURGIA ORTOGNÁTICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Uberlândia, como
exigência parcial para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica/Ciências.

Área de concentração: Computação Gráfica

Orientador: Prof. Edgard Lamounier Jr, PhD.

Co-Orientador: Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Uberlândia – MG
Dezembro de 2013

M827s Morais, Giuliano Diniz de, 1976-
2013 Sistema de auxílio visual do reposicionamento ósseo por
 meio
 da cirurgia ortognática / Giuliano Diniz de Moraes. - 2013.
 128 p. : il.

Orientador: Edgard Lamounier Junior.

Coorientador: Alexandre Cardoso.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de
Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Cirurgia ortognática -
Teses.
3. Ossos faciais - Cirurgia - Teses. I. Lamounier Junior,
Edgard. II.
Cardoso, Alexandre. III. Universidade Federal de
Uberlândia. Pro-grama de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica. III. Título.

CDU:

621.3

**SISTEMA DE AUXILIO VISUAL DO REPOSICIONAMENTO ÓSSEO POR MEIO
DA CIRURGIA ORTOGNÁTICA.**

Dissertação aprovada para a obtenção do título
de Mestre no programa de Pós Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Uberlândia (MG) pela banca examinadora
formada por.

Uberlândia, 12 de dezembro de 2013

Prof. Dr. Edgard Lamounier Jr., UFU/MG

Prof. Dr. Alexandre Cardoso, UFU/MG

Profª Dra. Rosa Maria Costa, UERJ/RJ

Prof Dr. Adriano Alves Pereira, UFU/MG

DEDICATÓRIA

A minha maravilhosa esposa Irina e aos meus filhos
Giovanni e Lucas, por todo suporte, incentivo e paciência para
a conclusão desse trabalho em busca da realização
dos meus objetivos.

A minha mãe, Maria Regina, por sempre acreditar
em mim, e contribuir muito para a minha formação acadêmica.

Agradecimentos

A Deus, por todas as oportunidades que surgiram ao longo do meu caminho, tenham sido elas difíceis ou não, foram sempre motivo de luta, esperança, incentivo, aprendizado e vitória.

À minha esposa e os meus filhos, por serem minha grande razão em busca da constante evolução.

À minha mãe e irmãs por estarem do meu lado desde sempre abrindo meu caminho.

À minha grande amiga Daniela Uebele, pelo incentivo em continuar esse trabalho, e por toda a sua valiosa contribuição e ajuda para que esse trabalho chegasse ao final.

Ao meus orientadores Edgard Lamounier Jr., PhD e Alexandre Cardoso, Dr., pelo apoio, paciência e principalmente pela confiança que esse resultado fosse alcançado.

Aos meus colegas Thiago Franco Moraes e Paulo Henrique Junqueira Amorim, ambos do CTI Renato Archer, pelo imenso apoio e contribuição no desenvolvimento do sistema e na busca das soluções matemáticas para essa pesquisa.

À Cinara Fagundes, que pacientemente me orientou nos trâmites burocráticos.

Ao meu gerente na IBM, Duane Eger, por sua compreensão e apoio durante o desenvolvimento desse trabalho.

E por fim, ao meu grande amigo Fernando Branquinho, a quem sempre tive como um exemplo a seguir na vida pessoal e profissional.

“Se soubesse que o mundo se acaba amanhã, eu ainda hoje plantaria uma árvore”

Martin Luther King

RESUMO

O uso de tecnologias de Computação Gráfica, aplicada nas diferentes áreas da saúde é com certeza notória. Estudos mostram seu feito extremamente positivo e, principalmente, confiável, possibilitando a criação de novas técnicas e melhores resultados. A literatura mostra que a área da Ortodontia, em especial a cirurgia ortognática, ainda é carente de tecnologias de apoio ao cirurgião, bem como seus pacientes. Em particular, é significativo o número de casos de pacientes que ao utilizar o aparelho ortodôntico tradicional não obtiveram resultados satisfatórios. Neste contexto, é recomendável a cirurgia ortognática, que demanda a quebra da mandíbula ou da maxila. É importante salientar que os pacientes indicados para este procedimento possuem sintomas bastante acentuados. De fato, eles apresentam problemas na relação entre os dentes, músculos e ossos, dores na musculatura do rosto, na posição da língua e da articulação temporo-mandibular (ATM articulação na frente dos ouvidos), adicionalmente, podem apresentar enxaquecas e até disfunções estomacais (devido à mastigação incorreta), referentes a respiração e fonação. O fato de o queixo estar posicionado inadequadamente para frente ou pra trás, podem trazer problemas funcionais graves, como apneia. Esta pesquisa descreve a análise e simulação em 3D de um procedimento de cirurgia ortognática, com o objetivo de auxiliar em um melhor planejamento cirúrgico utilizando eficientemente tomografias computadorizadas. Existe a intenção de incluir a aplicação no software *InVesalius*TM para o uso da Realidade Virtual no processo de estudo do procedimento de cirurgia ortognática. O sistema foi avaliado por um conjunto de profissionais da área. A potencialidade da ferramenta, baseada na avaliação realizada, é discutida no corpo desta dissertação.

Palavras Chaves: Cirurgia Ortognática, Tomografia Computadorizada, Computação Gráfica, Reposicionamento Ósseo.

ABSTRACT

The use of computer graphics technology, applied in different areas of health is certainly notable, having positive and reliable results, thus pushing for innovative techniques. The current literature still lacks of collateral to support surgeons and their patients on the orthognathic surgery field. Orthognatic Surgery usually is applicable to patients who have used traditional braces, and did not obtain satisfactory results. The Orthognatic Surgery provides a manner to do a jaws breakdown through a controlled set of procedures with certain security levels. It is through surgical procedure that a perfect dental occlusion is expected. It is important to note that patients suitable for this procedure should have very pronounced symptoms, with origin in the relation between the teeth, muscles and bones. These problems may cause a set of symptoms, among them are pain in the face, incorrect tongue and TMJ positioning, headaches and stomach disorders (due to improper chewing) , respiration and phonation issues. This paper describes a 3D analysis and simulation of a procedure for orthognathic surgery, with the goal of providing a better assistance for surgical planning using CT scans efficiently. There is also a motivation to include the software code written in this dissertation as part of the *InVesalius*TM system, from CTI, in order to leverage the capabilities of orthognathic surgery planning and simulation and its expected outcomes.

Key Words : Orthognathic Surgery , CT , Computer Graphics , Bone repositioning.

Lista de Publicações

A seguir são apresentadas as publicações resultantes deste trabalho:

Morais, G. D.; Uebele, D.T.R.; Lamounier Jr., E.A.; Cardoso, A; **Visualização do tratamento ortodôntico utilizando realidade virtual e realidade aumentada.** In: Anais do VII workshop de Realidade Virtual e Aumentada – WRVA’2010, São Paulo, SP, Brasil.

Morais, G. D.; Uebele, D.T.R.; Lamounier Jr., E.A.; Cardoso, A; **Visualização do tratamento ortodôntico com o uso da realidade virtual no procedimento da cirurgia ortognática.** In: Anais XI CEEL 2013 – Conferência de Estudantes em Engenharia Elétrica, Uberlândia, MG, Brasil.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
CAPÍTULO 1	13
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	15
1.2 Importância do tratamento	17
1.3 Objetivos	17
1.4 Estrutura da Dissertação	18
CAPÍTULO 2	20
2. FUNDAMENTOS	20
2.1 Introdução – Cefalometria: Vinte séculos	20
2.1.1 Em busca de um ideal	21
2.1.2 Século XX	22
2.1.3 Cefalometria	22
2.2 Vantagens e precisão de Cefalometria digital X radiográfica	29
2.3 Técnica de Cefalometria Radiográfica	30
2.4 Auxílio da tecnologia na cirurgia ortognática	31
2.4.1 DICOM (Digital Image Communications in Medicine)	32
2.4.2 Tomografia Computadorizada - Médica	32
2.4.3 Tomografia Computadorizada - Odontológica	34
2.4.4 Ressonância Magnética	35
2.5 Morfometria tridimensional (3D) da face	36
2.6 Fabricação de Splints para Cirurgia Ortognática Utilizando Impressora 3D	37
CAPÍTULO 3	39
3. TRABALHOS RELACIONADOS	39
3.1 CMFApp	40
3.2 Dolphin	43
3.3 Dolphin3D	44
3.4 Maxilim	45
3.5 InvivoDental	47
3.6 3dMDvultus	48

3.7	SimPlant O&O	49
3.8	Comparações	51
CAPÍTULO 4		53
4.	ARQUITETURA DO SISTEMA	53
4.1	Sistema Proposto	53
4.2	Arquitetura	54
4.2.1	Requisitos Funcionais	54
4.2.2	Diagrama de Sequencia	54
4.2.3	Casos de Uso	55
4.2.3.1	- Casos de Uso – Preparar Imagem	56
4.2.3.2	- Casos de Uso – Carregar Imagem	57
4.2.3.3	- Casos de Uso – Realizar Osteotomia	57
4.2.3.4	- Casos de Uso – Avaliar Resultado	59
4.3	Formatos Digitais para Imagens Médicas	60
4.4	Conversão DICOM para STL	62
4.5	Fluxo de Utilização do Sistema Proposto	66
CAPÍTULO 5		74
5.	DETALHES DE IMPLEMENTAÇÃO	74
5.1	Java 3D	74
5.2	Invesalius	79
5.3	Python	82
5.3.1	wxPython	84
5.3.2	VTK	86
5.4	Detalhes de Implementação do Sistema Proposto	90
5.4.1	Diagrama de Classes	90
5.4.2	Interface Gráfica	92
5.4.3	Classe JanelaPrincipal	93
5.4.4	Elementos Visuais	93
5.4.5	Métodos Manipuladores de Eventos	95
5.4.6	Classe PainelCorte	98
5.4.7	Métodos PainelCorte	99
CAPÍTULO 6		105
6	RESULTADOS E LIMITAÇÕES	105

6.1	Procedimentos	105
6.1.2	Procedimento Cirúrgico	106
6.1.3	Projeção de Resultado	107
6.1.4	Intenção no uso do software	108
6.1.5	Valor para o paciente	109
6.1.6	Projeção em Tecido Mole	111
6.1.7	Importância do Cadastro de Pacientes	111
6.1.8	Interesse em utilizar o Protótipo VTO – UFU – Visualização do Tratamento Ortognático	112
6.1.9	Interesse em adquirir software	113
6.1.10	Sugestões para a interface gráfica	115
6.1.11	Sugestões gerais	116
6.2	Avaliação	116
CAPITULO 7		118
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	118
7.1	Conclusão	118
7.2	Aprimoramentos do Sistema	120
7.3	Trabalhos Futuros	120
7.4	Considerações Finais	121
APÊNDICE A		126

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Aparelho AEB	13
FIGURA 2:	Osteotomia modelo digital e modelo físico.	14
FIGURA 3:	Traçado cefalométrico	16
FIGURA 4:	Face retrognata e prognata.	21
FIGURA 5:	Traçado e pontos para análise cefalométrica	24
FIGURA 6:	(a) oclusão normal, (b) Protrusão maxilar, (c) Protrusão dentoalveolar.	27
FIGURA 7:	Elementos de uma imagem tomográfica computadorizada	29
FIGURA 8:	Pontos cefalométricos para análise	32
FIGURA 9:	Tomógrafo médico	33
FIGURA 10:	Tomógrafo odontológico	34
FIGURA 11:	Equipamento de ressonância magnética	35
FIGURA 12:	Bobina – Ressonância Magnética	35
FIGURA 13:	Digitalizador eletromagnético, face obtida.	36
FIGURA 14:	Crânio digitalizado em 3D.	37
FIGURA 15:	Tela de tratamento do software Vistadent	39
FIGURA 16:	Software CMFApp – no estudo de osteotomia	41
FIGURA 17:	Sequencia do processo com o CMFApp	41
FIGURA 18:	Simulação de cirurgia em três dimensões	42
FIGURA 19:	Simetria do procedimento	42
FIGURA 20:	Medidas cefalométricas e sobreposição de imagens.	44
FIGURA 21:	Mentoplastia.	45
FIGURA 22:	Planos Axial e coronal	46
FIGURA 23:	Osteotomia no Maxilim	46
FIGURA 24:	Invivo Dental Viewer	47
FIGURA 25:	Fotografia 3D no 3dMDvultus	48
FIGURA 26:	Osteotomia virtual no 3dMDvultus	49
FIGURA 27:	Cefalometria e planos de análise no SimPlant	50
FIGURA 28:	Procedimento de Osteotomia no Simplan O&O	50
FIGURA 29:	Diagrama de Sequencia do Sistema	55
FIGURA 30:	Diagrama de Caso de Uso Preparar Imagem	56
FIGURA 31:	Diagrama de Caso Carregar Imagem	57

FIGURA 32: Diagrama de Caso de Uso Realizar Osteotomia	58
FIGURA 33: Diagrama de Caso de Uso Avaliar Resultado	59
FIGURA 34: Fatias 2D gerado a partir de um tomógrafo	60
FIGURA 35: Esfera composta por polígonos	61
FIGURA 36: Esfera composta por polígonos com maior número de pontos	62
FIGURA 37: Importação dos arquivos DICOM pelo InVesalius	63
FIGURA 38: Geração de arquivo STL a partir do DICOM	63
FIGURA 39: Editoração das fatias sagitais para separação da mandíbula	64
FIGURA 40: Fatia Sagital - editoração da imagem com recurso do InVesalius	64
FIGURA 41: Fatia sagital para visualização da separação de dentes.	65
FIGURA 42: Tela inicial do protótipo da função	66
FIGURA 43: Carregamento do STL no <i>Canvas</i>	66
FIGURA 44: <i>Canvas</i> já com caixa de corte	67
FIGURA 45: Caixa de corte pós definição de novos limites	67
FIGURA 46: Opção de ligar e desligar a ferramenta de corte	68
FIGURA 47: Rotação da câmera e rotação dos eixos ao mesmo tempo	69
FIGURA 48: Salvar as partes em dois arquivos .STL distintos.	69
FIGURA 49: Salvar partes ósseas em arquivos separados	70
FIGURA 50: Seleção da opção Controlar Objeto	70
FIGURA 51: Ferramenta de Corte Ativada	71
FIGURA 52: A) Exibição caixa de corte B)movimentação após gravar arquivos	71
FIGURA 53: Seleção de mais de uma imagem para ser carregada.	72
FIGURA 54: Cores para identificar partes distintas na cena	72
FIGURA 55: Limpar área de trabalho	73
FIGURA 56: Logo de divulgação da API Java 3D.	74
FIGURA 57: Renderização de uma esfera com Java3D	75
FIGURA 58: Código para gerar uma esfera de polígonos	75
FIGURA 59: Imagem complexa gerada por meio do Java3D	77
FIGURA 60: Hierarquia da classe ModelClip	77
FIGURA 61: Código para uso da função ModelClip	78
FIGURA 62: Esfera após aplicação do ModelClip	78
FIGURA 63: <i>Splash Screen</i> do InVesalius	79
FIGURA 64: Quadros de visualização no InVesalius	80

FIGURA 65: A) Imagem com ruído B) Imagem com ruído removido	81
FIGURA 66: Execução de comando de saída de informação em Python.	82
FIGURA 67: Exemplificação da “classe Aluno” no modo interativo	83
FIGURA 68: Código para ordenação em Python	83
FIGURA 69: Ranking de Linguagens de Programação	84
FIGURA 70: Exemplo de aplicação utilizando wxPython	85
FIGURA 71: Código utilizando o wxPython, criação inclusive da Janela Principal	85
FIGURA 72: Diagrama de Blocos do pipeline do VTK	87
FIGURA 73: Cubo renderizado usando o VTK	88
FIGURA 74: Código do cubo em VTK usando técnica de <i>pipeline</i>	88
FIGURA 75: Diagrama de Classe do Sistema desenvolvido	91
FIGURA 76: Código da Janela Principal	91
FIGURA 77: Tela da ferramenta de corte com componentes gráficos.	92
FIGURA 78: Código da definição da classe JanelaPrincipal	93
FIGURA 79: Criação do menu na JanelaPrincipal	93
FIGURA 80: Barra de Ferramentas	94
FIGURA 81: Manipulação de Eventos	95
FIGURA 82: Código para Abrir arquivo no formato STL	96
FIGURA 83: Manipulador de evento responsável por gravar as partes cortadas	96
FIGURA 84: Manipulador de evento para ligar e desligar a ferramenta de corte	97
FIGURA 85: Código da Classe Painel de Corte	98
FIGURA 86: Código para carregar a imagem na área de trabalho	99
FIGURA 87: Código para seleção e movimento da parte óssea	101
FIGURA 88: Diagrama de Classes	102
FIGURA 89: Definição do Método OnMotion	102
FIGURA 90: Hierarquia de classe de vtkTransform	104
FIGURA 91: Procedimentos com potencial de realização por meio do sistema	106
FIGURA 92: Apto para usar na preparação ou simulação do procedimento cirúrgico	107
FIGURA 93: Projeção do resultado	108
FIGURA 94: Intenção de uso do protótipo	108
FIGURA 95: Valor para o paciente	109
FIGURA 96: Relevância da projeção em pele	111
FIGURA 97: Importância do Cadastro de Pacientes	112

FIGURA 98: Interesse em usar o protótipo	113
FIGURA 99: Interesse em comprar o software	114
FIGURA 100: Sugestão para Interface Gráfica com o usuário	115
FIGURA 101: Sugestões gerais	116
FIGURA 102: Avaliação através da escala de 1 a 5	117

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -Escala de Hounsfield	33
TABELA 2 -funcionalidades analisadas em softwares correlatos.	51
TABELA 3 -Descrição caso de Uso Preparar Imagem	56
TABELA 4 -Descrição Caso de Uso Carregar Imagem	57
TABELA 5 -Descrição de Caso de Uso Realizar Osteotomia	58
TABELA 6 -Descrição Caso de Uso Avaliar Resultado	59

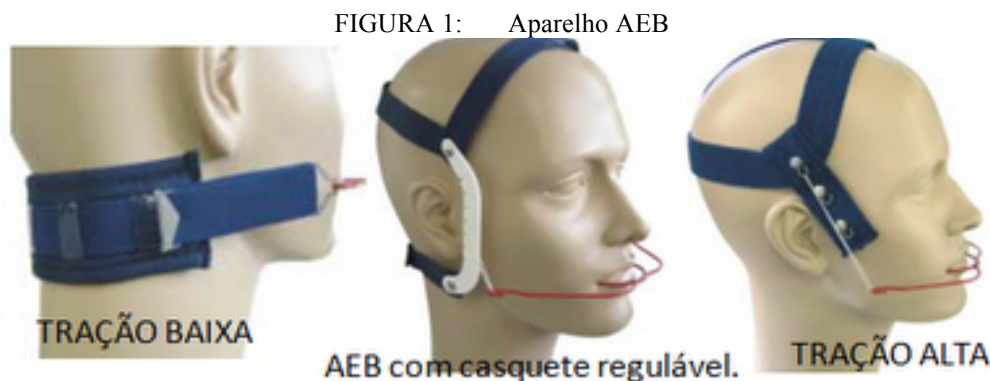
CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Dentre as áreas de interesse de estudo e tratamento de características fisiológicas no âmbito da saúde bucal e suas intercorrências, profissionais dessa atividade registram grande casuística clínica de pacientes com características Dólico Facial classe II de Angle (50% nas clínicas). (SERAGUSA apud GABRIELLI, 2010)

Tais pacientes tem indicação para o uso do aparelho extra bucal específico, referido pela área ortodôntica por sua sigla AEB (em língua inglesa). Estudos do professor Dr. Sebastião Interland, que aperfeiçoou este aparelho denominando de IHG (*Interland Head Gare*) apresentam resultados que facilitam o tratamento desses pacientes (LOIOLA, 2009).

Preocupações estéticas estão entre as grandes resistências ao uso de dispositivos para esse fim, limitando e comprometendo os tratamentos, conforme Figura 1.



Fonte: CETRO – Centro de Especialização e Treinamento de Odontologia, (2011)

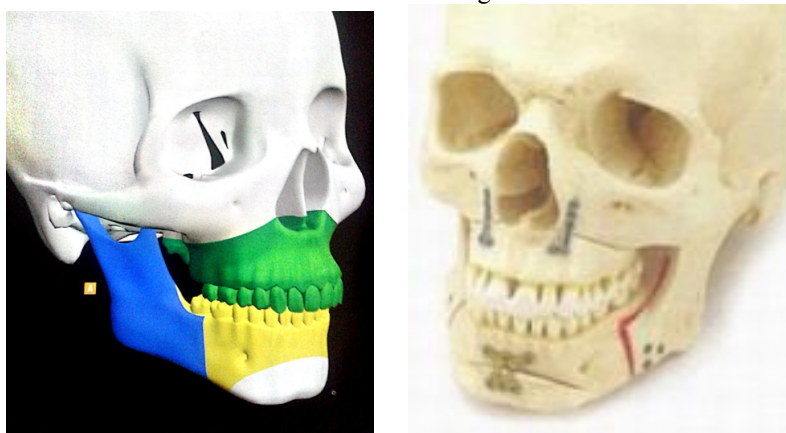
Essas questões têm implicações em relação ao convívio e segregação social de pré-adolescentes usuários do mesmo, submetidos à lamentável prática referida como *bullying*, humilhações e zombarias que causam constrangimento, desestimulando o seu uso.

Deformidades de ossos faciais podem originar-se de distúrbios de crescimento, síndromes e anomalias específicas, traumas na face, ou ainda de origem genética, dentre outros fatores. Essa alteração pode estar localizada em ossos, como no prognatismo mandibular - mandíbula grande - ou em seu oposto, no retrognatismo mandibular - mandíbula pequena - sendo que muitas vezes é um problema combinado, associando maxilar e mandíbula (PALMA, 2010).

Este trabalho visa atender pacientes que não obtiveram sucesso em tratamentos anteriores, em decorrência de orientação insuficiente ou mesmo por ausência de orientação, e consequentemente deixando de submeter-se ao tratamento. Também soma-se a esse grupo os pacientes que por condições sócio econômicas inferiores não se submeteram ao tratamento preventivo.

A alternativa restante é o procedimento cirúrgico, conhecido como cirurgia ortognática ou cirurgia buco maxilo facial. Tal intervenção cirúrgica consiste na osteotomia, ou seja, quebra óssea da mandíbula e, se necessário da maxila, de forma a reposicioná-las, obtendo a oclusão dentária adequada, observa-se nos modelos da Figura 2 os cortes mais comuns. O objetivo deste procedimento é melhorar a qualidade de vida do paciente.

FIGURA 2: Osteotomia modelo digital e modelo físico.



Fonte: Accorsi e Velasco(2011, p.230) e Palma, (2010)

Os fatos apresentados até então abrangem o ponto de vista do paciente, no entanto, o estudo da disciplina de cirurgia ortognática, vinculado a aplicação de técnicas de computação gráfica adicionalmente permite disponibilizar-se-á aos profissionais de cirurgia, ortodontista e médico cirurgião uma ferramenta de trabalho útil e ágil, de motivação aos pacientes com indicação para procedimento cirúrgico, incentivando-os a submeterem-se ao tratamento (ACCORSI e VELASCO, 2011).

Com essa visualização, substitui-se assim a habitual apresentação, pelo especialista, de imagens de outros pacientes que já passaram pelo tratamento, exemplificando resultados e benefícios que poderão ocorrer com o interessado. Ao invés de socorrer-se com apresentações de terceiros, a ferramenta permitirá que o profissional utilize a tomografia do próprio paciente para a visualização do tratamento ortodôntico proposta, conhecido como VTO (Visualização

do Tratamento Ortodôntico). O trabalho é dirigido aos adultos com diagnóstico de prognatismo e retrognatismo mandibular e ou maxilar (Dólico Facial Classe II e III).

É evidente que usar os recursos atuais para o diagnóstico em 3D, onde a real anatomia do paciente pode, sem precedentes, ser observada de forma precisa, torna o planejamento mais consistente e melhor direcionado, com resultados mais previsíveis. (ACCORSI e VELASCO, 2011).

Segundo Graber, considerando a aplicação do tratamento com o aparelho AEB (Figura 1), espera-se ampliar a obtenção de resultados favoráveis programados e previsíveis, aumentando a segurança do paciente em aceitar a indicação cirúrgica mesmo com riscos inerentes, uma vez que o paciente tem maior facilidade em acreditar nos resultados a serem encontrados.

Para alcançar esse objetivo, a pesquisa foi realizada permitindo o desenvolvimento de software e sua possível inclusão no aplicativo *InVesalius*TM, permitindo ao cirurgião dentista e/ou médico buco maxilo facial um melhor preparo e planejamento no estudo do procedimento cirúrgico a que seus pacientes irão se submeter. Além dos desempenhos indicados, adicionalmente contribuirá para a redução da duração do procedimento cirúrgico, uma vez que a simulação já tenha ocorrido.

Esse desenvolvimento é o animus desta pesquisa.

1.1 Motivação

Segundo Gabrielli, presidente do Colégio Brasileiro de Cirurgia e Traumatologia Buco maxilo facial em 2009, 60% da população brasileira necessita de algum tipo de tratamento ortodôntico, sendo 5% de prescrição cirúrgica, baseado nas pesquisas realizadas pelo instituto norte-americano e na literatura nacional. (SERAGUSA apud GABRIELLI, 2010)

Assim sendo, tal proporção de pacientes em relação à atual população brasileira, equivaleria a cerca de 5,8 milhões de pacientes, considerando a estimativa divulgada em 31 de agosto de 2012 pelo IBGE.

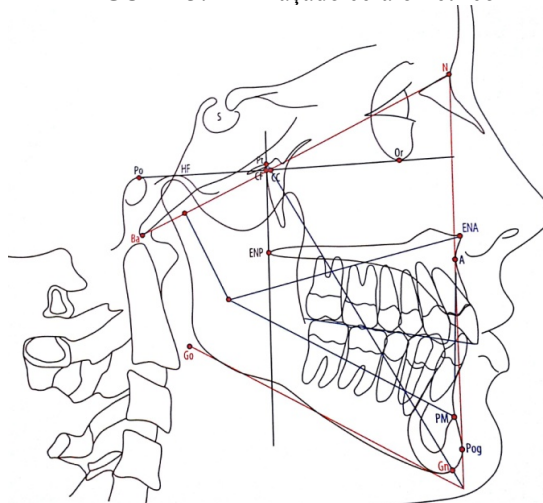
No entanto, Gabrielli considera a possibilidade de que cerca de 10 milhões de brasileiros deveriam submeter-se a cirurgia ortognática para a correção de problemas na maxila - estrutura óssea que suporta os dentes superiores - e ou na mandíbula - que mantém os dentes inferiores.

O objetivo deste trabalho é o de oferecer uma ferramenta para auxiliar profissionais cirurgiões ortodônticos e/ou médicos especialistas buco maxilo facial a preparar o

procedimento cirúrgico por meio de análise e simulação, utilizando a tomografia computadorizada e similares além de recursos da computação gráfica, com suporte em 3 dimensões – largura, altura e profundidade – referidos como 3D, efetuando a osteotomia necessária e desta forma permitindo a visualização prévia da movimentação óssea em imagem tomográfica real adquirida do paciente.

Destaca-se a superioridade de resolução disponível para a visualização em 3D sobre a em dois planos - 2D - esta mais difundida no cotidiano da prática ortodôntica, a análise cefalométrica como mostra Figura 3.

FIGURA 3: Traçado cefalométrico



Fonte: Jacobson (2010, p. 80)

Com esse recurso, oferece-se nova ferramenta aos profissionais da área, baseada na experiência de forma a estimular o paciente a submeter-se ao procedimento que é claramente complexo e vasto de riscos com recuperação penosa, constituindo-se em processo irreversível.

O benefício para o paciente reside no conhecimento das etapas do processo e na projeção do resultado esperado. Para o profissional clínico, disponibiliza-se uma ferramenta para apresentar os benefícios e a melhora da mastigação, com o melhor posicionamento de seus elementos dentários, aparelho mastigador, pós-tratamento, melhorando significativamente em relação à utilização de recursos atuais, baseados em modelos de gesso, com poucas orientações de posicionamento ósseo referente à face, com os traçados cefalométricos do posicionamento antes e depois do procedimento.

É importante salientar que este trabalho trata especificamente dos aspectos clínicos da remodelação óssea. Benefícios adicionais do ponto de vista estético referem-se à motivação para a maioria dos pacientes na busca pelo tratamento. (JACOBSON, 2010)

1.2 Importância do tratamento

A correção de deformidades faciais por meio da cirurgia ortognática traz grandes benefícios aos pacientes, com sensível melhora na relação entre dentes, músculos e ossos. Melhoram-se consideravelmente os processos respiratórios e fonéticos, originalmente restritos pela estrutura mandibular, nos dois extremos, proeminente e retraído, com os respectivos problemas funcionais importantes como apneia, dores na musculatura do rosto, na posição da língua e da articulação temporo-mandibular - ATM, qual seja a articulação à frente dos ouvidos, enxaquecas e até disfunções estomacais decorrentes de mastigação insuficiente.

A cirurgia ortognática moderna busca o aperfeiçoamento do conjunto dessas funções. Ganhos adicionais são obtidos na melhoria da simetria facial e efeitos estéticos, com reflexos positivos sobre a homeostase do indivíduo, superando efeito de isolamento social dos pacientes, ao fugir de constrangimentos e "brincadeiras" maldosas das pessoas. (RIBAS, REIS e FRANÇA, 2005)

1.3 Objetivos

Essa dissertação tem por objetivo desenvolver recurso funcional em tecnologia de informação para suporte ao estudo de osteotomia, particularizado no campo facial, todavia, sem restrição ao uso em outras localizações anatômicas. Buscou-se realizar o desenvolvimento de forma modular e com aspectos propícios à integração através de componentes de software a fim de ser de simples adoção pelo software *InVesalius*TM, programa informatizado de imagens médicas, para reconstrução tridimensional de estruturas anatômicas, desenvolvido pelo Centro de Tecnologia da Informação (CTI) Renato Archer na Divisão 3D.

O *InVesalius*TM teve seu início em 2000 no Programa de apoio à Medicina (ProMed), de fácil compreensão e manuseio intuitivo, que viabiliza sua utilização por profissionais especialistas que atuam na correção da má oclusão dentária por meio do procedimento cirúrgico. Pela facilidade de utilizar imagens tomográficas computadorizadas, obtêm-se acurada visualização no estudo dos movimentos e planejamento das ações a serem realizadas

em procedimentos cirúrgicos, superando com grande vantagem o uso de modelos físicos padrão.

O trabalho desenvolvido nessa dissertação apropria-se de boas práticas e ferramentas do *InVesalius*TM, contribuindo com novas técnicas e ferramentas totalmente voltadas a realização de cirurgia ortognática, bem como a formação de um VTO a ser utilizado tanto pelo especialista, como o paciente. No decorrer do texto, essa contribuição apresentada pelo autor será explicada em detalhes, e adicionalmente apresentando resultados práticos envolvendo um sistema de software e pesquisas com especialista da área de estudo.

1.4 Estrutura da Dissertação

O capítulo 2 abrange a revisão bibliográfica sobre origem, desenvolvimento e a importância da ortodontia e dos benefícios obtidos por pacientes com problemas de má oclusão dentária, relata-se na sequência as tecnologias desenvolvidas com o objetivo de auxiliar a análise e estudo além da melhoria da qualidade e segurança dos procedimentos cirúrgicos devido ao prévio estudo detalhado de cada paciente.

O capítulo 3 contém revisão em estado da arte do softwares comercializados ou gratuitos que tratam o assunto ou que pelo menos de alguma forma estejam relacionados a análise da má oclusão. Esta atividade tem caráter restritamente científico, qual seja identificar os programas disponíveis e respectivas potencialidades, isenta de qualquer conotação comparativa que não seja o arrolamento e finalidades apresentadas pelos desenvolvedores.

No capítulo 4 estrutura-se a solução proposta para tratar o problema, com suas funcionalidades admitidas perante o exposto nos capítulos anteriores, considerando conclusões e demandas decorrentes da verificação de revisões bibliográficas, suas finalidades e ferramentas utilizadas, citando métodos aplicados e justificando a importância e utilidade de aplicação deste trabalho.

O capítulo 5 voltado ao desenvolvimento da aplicação, onde são apresentados os softwares utilizados para a manipulação de imagens 3D, com as suas devidas bibliotecas e API (*Application Programming Interface* - Interface de Programação de Aplicativos, conjunto de padrões que auxiliam na construção das aplicações). As APIs existentes para cada linguagem de programação são exploradas e suas limitações observadas e estudadas no desenvolvimento deste trabalho, incluindo a isso a motivação nas escolhas de cada tecnologia.

No capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos por meio de uma pesquisa após apresentação da proposta e do manuseio do software por profissionais ligados a área em

estudo, expondo portanto a opinião daqueles que serão os possíveis e principais usuários, além de registrar suas críticas e sugestões.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões desta dissertação mediante o conteúdo apresentado nos capítulos anteriores, e subsequente relacionamento com trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS

Abordam-se conceitos e estudos relativos à evolução da humanidade, no plano histórico pelas linhas da Ciência (do verbo scire, saber, latim) e da técnica (do grego Tekné, arte, o conhecimento aplicado). Assim, entre o saber e o saber fazer, pode o homem aprimorar de forma limitada suas atividades. A Ciência desenvolvia-se pela matemática, e astronomia, entre outras (ZAGOTTIS, 1987).

Isaac Newton escreveu seus princípios matemáticos da filosofia natural, onde surgiram às leis da física e seus ramos de conhecimento, a evolução que interliga o desenvolvimento das pesquisas médicas e tecnológicas será discutidas de forma a constituir a ligação íntima destes dois campos de pesquisa e fundi-los em um único, visando o bem estar do homem dentro da sociedade de forma a não apenas incluir ou minimizar as diferenças estéticas, muito cobradas pela sociedade, mas sim melhorar a qualidade da saúde dos pacientes, conforme discutido no capítulo 1.

2.1 Introdução – Cefalometria: Vinte séculos

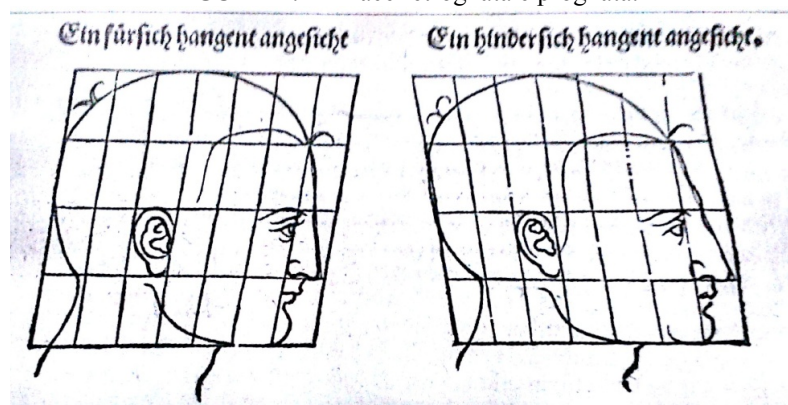
A análise fisionômica dos indivíduos é prática corrente na vida humana. Dentre os múltiplos objetivos encontra-se a identificação de relações entre as pessoas, pelo que esta análise geralmente considera aspectos emocionais e sua influência nos indivíduos, eis que, com frequência, os aspectos psicossociais acabam influenciando de forma significativa a vida das pessoas, que muitas vezes somatizam seus sentimentos e situação, com consequências à sua qualidade de vida, reconhecendo a ligação íntima entre espiritualidade e físico, caminhando assim para à perpetuação da raça.

A forma humana tem sido mensurada por muitas razões, a mais significativa é a relação entre temperamento e traços comportamentais a partir da análise física com a saúde. Estes estudos iniciaram na antiguidade e inclui tentativas de interpretar o aspecto físico com traços de personalidades. Por meio do estudo da face e o perfil humano vem estabelecendo diretrizes para reconstrução de deformidades faciais e a correção de maloclusões, este se deve aos esforços de ortodontistas, cirurgiões buco maxilo faciais e os cirurgiões plásticos, profissionais especializados no estudo de anomalias ou em correções baseadas em procedimentos cirúrgicos as cirurgias ortognática. (MOORREES, 2010 p. 13)

2.1.1 Em busca de um ideal

Os artistas no Egito, Grécia, Índia e Bizâncio utilizaram a matemática como ferramenta para mensurar a face humana através de vários métodos e motivos, estas análises de proporções e sistemas de coordenadas já vêm sendo utilizados desde a antiguidade, os registros mais remotos disponíveis, exibem a representação do corpo humano guiado por sistemas de proporcionalidade entre as partes, como o uso do plano horizontal de Frankfort que é referência para as várias análises existentes. O procedimento assegurou as relações harmoniosas das características faciais, torso, braços e pernas. O contato com ideais clássicos alavancou a renovação cultural da Europa no século XV onde a proporção à realidade física era contínua por meio da relação da harmonia matemática.

FIGURA 4: Face retrognata e prognata.



Fonte: Moorrees (2010, p. 21)

A partir dos livros de Proporções de Albrecht Dürer, são 4 livros, e das várias contribuições de Leonardo da Vinci, século XVIII, que apontou a diferença entre dois perfis, poderia ser definida por uma alteração na angulação do eixo vertical em relação ao horizontal, por meio de coordenadas, o contorno do perfil característico de um retrognata e de um prognata por meio do ângulo entre os eixos horizontal e vertical, Figura 4. Além do sistema de coordenadas, Dürer usou duas linhas, uma traçada da tangente da testa ao nariz outra tangente ao queixo e ao lábio superior, que ao se juntarem configurava um triângulo caracterizando o contorno do perfil por meio de um “ângulo facial” (MOORREES, 2010).

Petrus Camper (1722-1789), anatomista, médico e cientista, a sua metodologia foi orientar os crânios no espaço em um plano horizontal a partir do meio do meato acústico até um ponto abaixo do nariz. Gysel argumentou que os dois pontos de referência que

determinam o plano horizontal de Camper não estavam rigorosamente definidos, porém foi guiado pela direção do zigomático. Desta forma o plano horizontal de Camper se tornou a linha de referência para as medidas angulares, no entanto Thompson observou que “Camper apenas desenhou os eixos sem preencher a rede do sistema de coordenadas” como Dürer havia feito.

O ângulo fácil de Camper se tornou uma medida padrão em craniologia. Os termos prognático e ortognático, introduzidos por Retsius, estão ligados diretamente às ilustrações de Camper de forma facial no homem e nos primatas. Tornando-se o método antropológico para determinar o tipo de facial (MOORREES, 2010).

2.1.2 Século XX

Em 1899 Edward Angle publicou as classificações de maloclusão, sem dúvida esta publicação caracterizou a evolução da cefalometria no século XX. Exemplificada pela intercuspidação dos primeiros molares permanentes, como base para caracterizar os tipos de maloclusão, esse esquema apresentava a relação entre os arcos dentários, maxilar e mandibular.

Em 1915 Van Loon, estipulou um avanço conceitual realista onde, para um diagnóstico e um plano de tratamento significativo, um sistema tridimensional era necessário para determinar a relação da dentição com a face.

Em 1922, Pacini introduziu um método para padronizar a radiografia da cabeça, o que provava ser um relevante avanço no uso da cefalometria, assim como na mensuração do crescimento e do desenvolvimento da face.

Em 1931, foram publicados simultaneamente métodos para obter radiografias padronizadas da cabeça no periódico Angle Orthodontist e Fortschritte de Orthodontie, respectivamente por Broadbent, nos Estados Unidos, e Hofrath, na Alemanha, o que permitiu aos ortodontistas adotarem o campo da cefalometria (medida da cabeça viva) dos anatomistas e antropólogos que haviam monopolizado os estudos craniométricos, particularmente durante o século XIX. A metodologia da radiografia cefalométrica passou a ser mais utilizada.

2.1.3 Cefalometria

As radiografias cefalométricas têm como objetivo aperfeiçoar o diagnóstico e o plano de tratamento ortodôntico, por meio da comparação do padrão facial médio com os traçados

individuais do paciente. A diferença entre as medidas deve ser analisada e interpretada com cautela. Pode-se observar as variações das localizações dos pontos de referência nas várias normas dos traçados, enfatizando o fato de que um padrão facial médio é uma abstração útil. Não se pode esperar que os padrões faciais dos pacientes ortodônticos se ajustem a uma média quando os indivíduos com oclusão normal diferem destes (MOORREES, 2010).

Nos Estados Unidos foi feito por Downs, 1947, as primeiras análises cefalométricas de forma a analisar todas as medidas de um indivíduo, criou-se um quadro com esses valores permitindo desvios padrão de ± 1 e ± 2 ao longo do plano vertical representando o ponto médio da distribuição de todas as variáveis. A análise orientou a direção, extensão e consistência das diferenças individuais, levando a uma interpretação mais realista dos estudos cefalométricos. A normalização da face e da dentição melhora a função psicológica como a fisiológica, Andersen em 1931 destacou que a correção da deformidade é baseada na premissa de que a reabilitação é realmente condicionada pelas características individuais do padrão facial do paciente, e determina o real plano de tratamento deste.

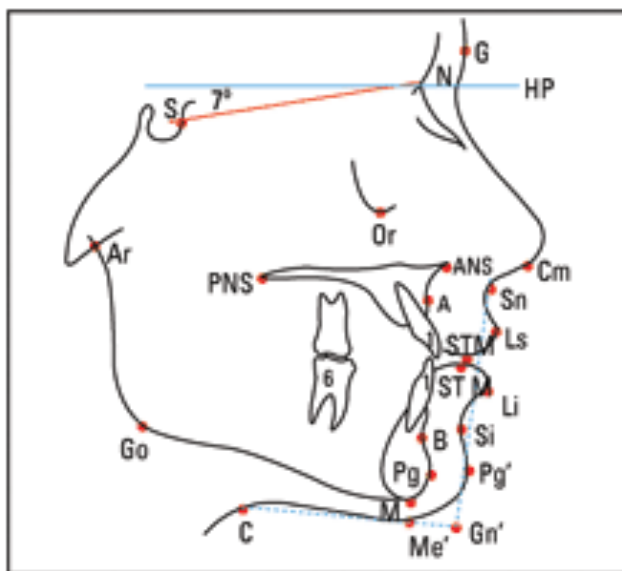
Por meio do reconhecimento das normas individuais, o diagnóstico se torna uma equação complexa, pois o ortodontista deve analisar não somente a oclusão. Deve portanto analisar também as relações dentárias e dos arcos, dentição e morfologia dentária, movimentação dos maxilares, o impacto fisiológico da maloclusão na função labial, aspectos anatômicos do desalinhamento dentário, formato facial, configurações do tecido mole, desarmonia facial e assimetria da face, além destes ainda os impactos psicológicos da desfiguração dento facial, o impacto fisiológico da maloclusão para função labial, respiração, crescimento, desenvolvimento, fala, mastigação e saúde bucal. Estes aspectos podem ser utilizados para determinar as indicações e contra indicações do tratamento, como também seus benefícios. Com base na capacidade do clínico em obter correções que permaneçam estáveis ao longo do tempo, a possibilidade de modificação de diferentes características de maloclusão deve ser compreendida pelo profissional conforme as limitações do paciente. Conclui-se que o diagnóstico é um levantamento do paciente como um todo, levando a entender que o plano de tratamento deveria ser baseado na obtenção de uma ótima estética e função para cada paciente, em vez de aderir às normas anatômicas rígidas de oclusão e configuração facial (MOORREES, 2010).

Nos consultórios ortodônticos, segundo Jacobson, o processo de traçar e analisar radiografias ou filmes cefalométricos é um dos procedimentos rotineiros. Para o principiante, a questão óbvia é “que informações podem ser obtidas de uma radiografia cefalométrica frontal ou lateral?”.

Os traçados podem indicar possível desarmonia facial como:

1. Uma maxila que é relativamente grande e/ou está posicionada muito para a frente - Prognatismo.
2. Uma mandíbula que é relativamente pequena e/ou está retroposicionada - retrognatismo.
3. Uma combinação de (1) e (2).
4. Incisivos superiores protruídos e/ou incisivos inferiores que estão lingualmente inclinados enquanto a relação entre os maxilares propriamente é normal.

FIGURA 5: Traçado e pontos para análise cefalométrica



Fonte: Gimenez et al (2006)

As análises poderão ser obtidas por meio dos vários métodos, sendo utilizado pelo especialista o mais indicado para cada indivíduo por meio das estruturas anatômicas e pontos utilizados para a análise cefalométrica, conforme a Figura 5. Quando leva-se em consideração o conceito de que cada indivíduo tem suas limitações de movimentação óssea, é comum se utilizar mais de um método de análise.

Antes de iniciar o traçado em uma radiografia cefalométrica, o clínico deve conhecer profundamente a anatomia da cabeça, em particular os componentes ósseos do crânio e da face. Ter ciência que um cefalograma bidimensional, conforme Figura 6, representa um objeto tridimensional e que estruturas bilaterais são projetadas sobre o filme. O clínico deve ser capaz de distinguir as estruturas bilaterais e traçá-las de forma independentes, já que na

maioria dos casos, os contornos dos lados direito e esquerdo não vão estar perfeitamente sobrepostos devido à assimetria facial.

Em um procedimento padrão clássico para análise das deformidades e classificação das mesmas, o profissional deve criar os traçados sobre o filme radiográfico utilizando cefalograma lateral (8"X10"). Os pacientes com assimetria facial frequentemente necessitam de uma radiografia frontal posteroanterior, em folha de acetato fosco para o traçado – 0,003" de espessura X 8" X 10", lápis 3H ou caneta hidrográfica muito fina, fita-crepe, algumas folhas de papel cartão (preferencialmente preto), medindo aproximadamente 6"X12", régua, esquadro e transferidor para gerar as marcações e fazer as medições euclidianas, apontador e borracha.

Depois de feito o traçado, são feitas as medidas tornando possível a marcação dos pontos atuais e determinar por meio de qual ou quais padrões pré-definidos seria o ideal para o paciente, definindo a movimentação dos pontos dentro do que o profissional considera viável de se alcançar para o paciente, conforme Page W. Caufield descreve no capítulo "Técnicas de Traçados e Identificação dos Pontos de Referência" (JACOBSON, 2010).

A seguir são apresentadas diferentes métodos de análise dos pontos cefalométricos dos pacientes.

2.1.3.1 Análise de Downs

Pela posição da mandíbula, W.B. Downs observou que poderia determinar se a face era equilibrada. O perfil "ideal", que representa a melhor harmonia de características para a maioria das pessoas, onde a posição da mandíbula é ortognatosa – isto é, nem retrusiva, tampouco protrusiva.

Downs reconheceu que os perfis faciais poderiam ser retrusivos ou protrusivos e ainda assim serem harmoniosos em proporção. Os indivíduos poderiam apresentar prognatismo dos maxilares, a face poderia se projetar além do crânio e ainda manter a harmonia das características.

Downs reduziu suas observações aos seguintes quatro tipos faciais básicos:

1. Retrognático, uma mandíbula recessiva.
2. Ortognático, uma mandíbula média ou ideal.
3. Prognático, uma mandíbula protrusiva.
4. Prognatismo verdadeiro, uma protrusão pronunciada da face inferior.

Todos ou alguns dos citados acima poderiam apresentar uma oclusão normal e um perfil facial harmonioso em forma e proporção. Downs utilizou a postura de visão distante como plano horizontal Frankfort (HF). Aproxima-se de uma posição nivelada quando um indivíduo permanece em uma postura de visão distante (reconhecendo suas limitações), como base de referência a partir da qual seria determinado o grau de retrognatismo, ortognatismo ou prognatismo (apud JACOBSON, 2010).

2.1.3.2 Análise de Steiner

Cecil C. Steiner selecionou os parâmetros mais significativos em sua opinião, e desenvolveu uma análise composta, com o objetivo de proporcionar o máximo de informação clínica com o menor número de medidas.

Medidas foram selecionadas, e estas determinadas em uma série de indivíduos com oclusões normais. Comparando-se as leituras traçadas ou medidas dos pacientes com maloclusão com pacientes com oclusão “normal”, o grau de desvio da normalidade poderia ser determinado.

Na análise de uma radiografia cefalométrica lateral, Steiner propôs a consideração de várias partes do crânio separadamente, a saber: o esqueleto, a dentição e os tecidos moles. A análise do esqueleto diz respeito à relação da mandíbula e da maxila com o crânio e entre si. Finalmente, a análise de tecido mole proporciona um meio de avaliar o equilíbrio e a harmonia do perfil da face inferior (JACOBSON, 2010).

2.1.3.3 Análise de Ricketts

Robert Ricketts em 1969 desenvolveu uma análise computadorizada com a intenção de ser utilizada rotineiramente por clínicos por meio do uso de traçados cefalométricos lateral e frontal para uma projeção de crescimento de amplo espectro até a maturidade.

O formulário de análise lista os parâmetros que devem ser medidos e avaliados para uma análise resumida inicial, como as medidas médias e às médias dos indivíduos de mesma idade considerados de boa oclusão. Após as medições desses parâmetros, fica facilitado a visualização das discrepâncias (JACOBSON, 2010).

2.1.3.4 Análise de McNamara

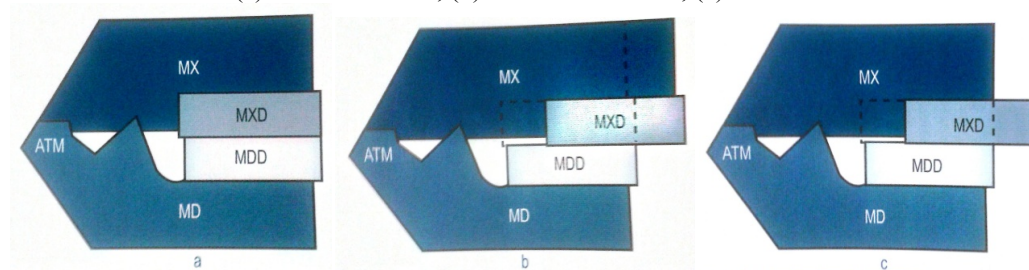
É essencialmente por meio desta análise que o ortodontista irá definir a necessidade de um procedimento cirúrgico para os casos de pacientes com fase de crescimento encerrada, e para casos de pacientes ainda em crescimento, e fazendo uso do aparelho extra oral, e que não tenham obtido o resultado esperado no momento da análise, onde de antemão já percebe-se que mesmo com a aplicação do tratamento ortodôntico os resultados não serão alcançados. Para esses dois cenários, essa análise poderá indicar o procedimento cirúrgico como a melhor alternativa.

A análise de McNamara divide o complexo esquelético craniofacial em cinco principais seções:

1. Maxila à base craniana
2. Maxila à mandíbula
3. Mandíbula à base craniana
4. Dentição
5. Vias aéreas

Ao examinar o esqueleto dentofacial, deve-se diferenciar entre os componentes esqueléticos e dentoalveolares de uma maloclusão. Em uma oclusão normal, bem equilibrada, os componentes esqueléticos e dentoalveolares dos maxilares estão bem relacionados entre si.

FIGURA 6: (a) oclusão normal, (b) Protrusão maxilar, (c) Protrusão dentoalveolar.



Fonte: (Jacobson, 2010)

Uma maloclusão classe II é caracterizada por uma maxila protrusiva (prognatismo esquelético), por causa da maxila protrusiva, a porção dentoalveolar inserida também foi levada em direção anterior, segundo Figura 6 (a) Componentes esqueléticos e dentários da face em oclusão normal, (b) Protrusão maxilar esquelética, (c) Protrusão dentoalveolar esquelética. Esse tipo de maloclusão pode ser efetivamente tratado por tração extraoral em

pacientes jovens, ou com osteotomia de Le Fort I ou, em certos casos, com osteotomia maxilar anterior em adultos - procedimento cirúrgico ortognático.

Em algumas medições, tanto a protrusão esquelética, quanto a dentária podem contribuir para a condição geral, devido ao fato de a etiologia da condição influenciar a estratégia de tratamento, dessa forma, é importante fazer uma diferenciação entre anormalidades esqueléticas e dentárias (JACOBSON, 2010).

2.1.3.5 Análise de Tweed

A equipe docente do curso de Estudo de Tweed desenvolveu um sistema de análise diagnóstica diferencial. O sistema permite que o clínico classifique um problema de um paciente em três categorias - facial, esquelético ou dentário - Com um modo de formular um diagnóstico diferencial preciso e atingir os objetivos predeterminados. As medidas cefalométricas lineares e angulares são descritas tanto no sistema de análise diagnóstica diferencial quanto na análise craniofacial (VADEN e KLONTZ, 2010).

O triângulo de diagnóstico de Tweed é composto do ângulo Frankfort-plano mandibular, do ângulo Frankford-incisivo inferior e ângulo incisivo-plano mandibular. A inter-relação desses três ângulos cefalométricos proporciona informação ao clínico responsável pelo diagnóstico sobre o padrão esquelético vertical do paciente, a relação dos incisivos inferiores ao osso basal e a quantidade relativa de protrusão, ou então sua ausência. É importante compreender que esses valores podem variar consideravelmente na proporção do padrão facial. Se o padrão facial apresenta uma dimensão vertical normal, essas medidas estarão muito próximas de coincidir com um perfil facial agradável.

A fundação Internacional Charles H. Tweed tem realizado vários estudos clínicos cefalométricos que proporcionaram informações que se tornaram parte integrante do sistema de análise diagnóstica diferencial (VADEN e KLONTZ, 2010).

2.1.3.6 A Geometria da Cefalometria

A análise cefalométrica para diagnósticos e planejamento do tratamento de pacientes ortodônticos é essencialmente um sistema de medidas designado para descrever as relações entre várias partes dos elementos esqueléticos, dentários e de tecido mole do complexo craniofacial. Os pontos de referências anatômicos nas radiografias cefalométricas são selecionados e conectados para obter linhas e ângulos que definem essas relações. Levando-se

em conta que a base craniana é considerada a área anatômica mais estável e/ou confiável no complexo craniofacial, muitas análises cefalométricas utilizam pontos de referência, para obter linhas de base. A maioria das relações é medida a partir de uma dessas linhas traçadas, as mesmas são bases para analisar as alterações resultantes do crescimento e/ou tratamento.

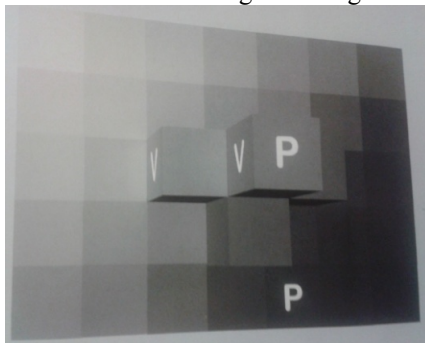
Uma razão para numerosas análises cefalométricas é que cada análise apresenta vantagens assim como desvantagens. Algumas possuem tantas medidas que se tornam clinicamente inviáveis, enquanto outras são tão simples que apresentam limitações (SADOWSKY,2010).

2.2 Vantagens e precisão de Cefalometria digital X radiográfica

Recentemente o desenvolvimento da tecnologia digital disponível, somada com o número crescente de praticas ortodônticas informatizadas, torna a imagem cefalométrica digital direta uma opção viável para a maioria dos clínicos. As unidades radiográficas convencionais estão cada vez mais sendo substituídas por máquinas digitais diretas, que usam as imagens obtidas via placas de fósforo para armazenamento, o que oferece uma série de vantagens sobre o filme. Antes que uma mudança radical de radiografias convencionais para radiografia cefalométrica digital possa ocorrer, a precisão superior da identificação digital de pontos de referencia deve ser demonstrada (MCCLURE e FERREIRA, 2010).

Revisando os conceitos básicos da imagem digital, e investigando as diferenças na identificação dos pontos de referência entre as radiografias cefalométricas laterais digitais diretas e as radiografias cefalométricas contemporâneas convencionais.

FIGURA 7: Elementos de uma imagem tomográfica computadorizada



Fonte: Accorsi e Velasco (2011 p.37).

Para entender a cefalometria digital, conforme a Figura 7 é necessário compreender brevemente como é criado uma imagem digital. Esta compreende células quadradas chamadas

elementos de figura ou pixels. O tamanho do pixel afeta a dimensão da matriz, o detalhamento e a resolução da imagem (CAVALCANTE, 2010).

O P- representa o Pixel (Picture element) que constitui a unidade bidimensional, V-Voxel (volume element) formador da unidade tridimensional. Os pixels representam a imagem exibida em monitores, enquanto os voxels são responsáveis pela capacidade de reconstrução multiplanar (RMP) e em terceira dimensão (ACCORSI e VELASCO, 2011).

A obtenção de imagens digitais direta pelo computador por meio do sistema de detector com carga acoplada (DCC) que possui um sensor que mostra a imagem no monitor. Este equipamento elimina a necessidade do quarto escuro para revelação e as substâncias químicas associadas, neste método a qualidade da imagem pode ser aperfeiçoada pela alteração dos ajustes da resolução na unidade de raios X.

Outras vantagens da radiografia digital é a redução da exposição do paciente à radiação; produz imagens radiográficas instantâneas o tempo e o custo do processamento e revelação; simplifica o realce, armazenamento e manipulação da imagem; facilita o compartilhamento da imagem com outros profissionais e facilita a identificação dos pontos de referência automatizados.

No entanto como toda nova tecnologia faz-se necessário o treinamento tanto do ortodontista como dos auxiliares, que pode ser oneroso do ponto de vista financeiro e da disponibilidade de tempo. O processo de obtenção da radiografia requer pouco tempo considerando o prévio conhecimento na obtenção tradicional, mas quando se fala da dificuldade de usar os computadores e acessórios a demanda de tempo é ainda maior. Considerando o grande número de sistemas de computadores para manipulação de imagens e gerenciamento de dados esse processo também vêm se tornando de forma gradativa mais fácil, entretanto ainda deve-se considerar a dificuldade, e a necessidade de conhecimento específico no momento de se fazer atualizações no sistema, software e hardware ou ainda delegar esta função a alguém que tenha maior domínio, em alguns casos contratando mão de obra especializada. Da forma análoga, a manutenção das unidades cefalométricas digitais pode ser difícil e onerosa, particularmente com reparos ou substituições de componentes caros (MCCLURE e FERREIRA, 2010).

2.3 Técnica de Cefalometria Radiográfica

Em 1900 Price demonstrou o valor da radiografia para o auxílio no diagnóstico em ortodontia, 5 anos após a descoberta do raio X. O método de cefalometria radiográfica

derivou-se, mais tarde, de estudos craniométricos antropológicos sedimentados e do uso do cefalômetro de Broadbent-Bolton, criado em 1931. O cefalômetro posicionador de cabeça - conhecido hoje como cefalostrato - permitia que radiografias cranianas laterais sequenciais fossem obtidas de modo padronizado, criando, assim, uma geometria de projeção feixe-filme-paciente reprodutível. Com a padronização das projeções radiográficas, as estruturas craniofaciais tiveram precisão nas comparações e medidas, diretamente na radiografia ou por meio do uso de traçados sobrepostos de pontos de referência anatômicos ósseos obtidos da radiografia, como já evidenciado neste capítulo (ACCORSI e VELASCO, 2011).

A radiografia dentária digital é utilizada em consultórios dentários para obtenção da medida e análise de imagens cefalométricas. Os fundamentos de radiografia e captura de imagens permanecem inalterados, independentemente do uso de um sistema digital ou de filme radiográfico.

O método manual descrito, apesar de muito utilizado é comprovadamente impreciso, considerando a origem da imagem de um paciente em 3D, o fato é que a análise sempre acontece em 2D. Apesar de o uso da cefalometria digital ser interessante, como afirmando na seção anterior, observou-se que os profissionais da área, para reduzir os custos do método digital, acabam optando pelo método tradicional, opção essa ainda mais utilizada por profissionais com maior experiência e afinidade com os recursos manuais (JACOBSON, 2010) (ACCORSI e VELASCO, 2011).

A utilização da Realidade Virtual permite não somente a análise em 2D como em 3D, no entanto a maioria das ferramentas oferecidas atualmente, exige que o profissional tenha conhecimentos profundos em informática e habilidades com o manuseio de equipamentos específicos desenvolvido para atender a área médica.

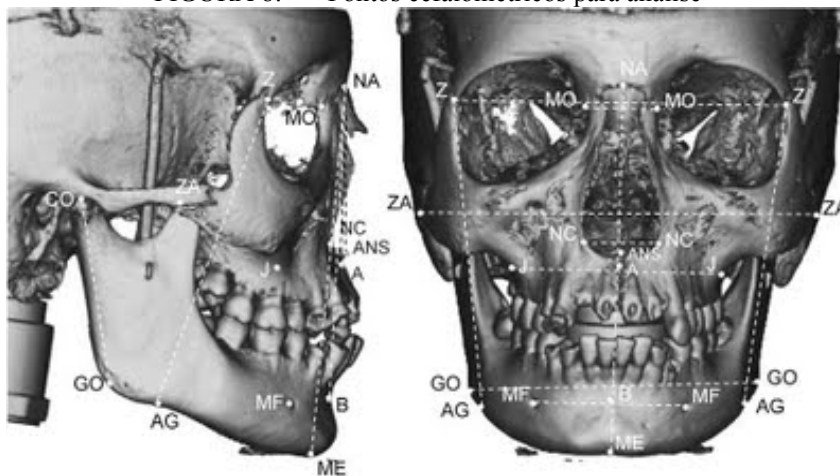
2.4 Auxílio da tecnologia na cirurgia ortognática

A maioria das ferramentas em desenvolvimento ou em aperfeiçoamento para a ortodontia busca uma maior precisão na análise dos problemas, e em melhores resultados. São notórios os grandes investimentos que clínicas e consultórios odontológicos tem feito em equipamentos, tendo como objetivo facilitar os processos de análise dos possíveis problemas de seus pacientes e por consequência diminuir as possibilidades de falhas nas decisões de qual ou quais tratamentos seriam adequados de aplicação.

As imagens em 3D permitem precisão e confiabilidade nas medidas lineares entre pontos cefalométricos. A Figura 8 apresenta uma imagem em 3D obtida por meio da

utilização de feixes de tomografias volumétricas.

FIGURA 8: Pontos cefalométricos para análise



Fonte: Brown, Scarfe e at al. (2009)

Este tipo de ferramenta permite uma diminuição da exposição do paciente às radiações, não resultando em uma perda de precisão dimensional. Isto gera uma boa consistência entre as sequencias e digitalizações diretas para medições entre pontos marcados de referência (SCARFE e at al., 2009).

2.4.1 DICOM (Digital Image Communications in Medicine)

O padrão DICOM trata da transmissão, do armazenamento e do tratamento de imagens médicas. Este padrão prevê várias modalidades de imagens médicas, provindas de equipamentos de tomográfica computadorizada, ressonância magnética, ultrassom, eletrocardiograma, entre outras que gerem arquivos a partir deste padrão.

A composição da imagem DICOM é sobre 2 itens principais; uma matriz contendo os pixels da imagem e um conjunto de meta-informações. Além dessas informações, podem estar incluídos dados do paciente, a modalidade da imagem e a posição da imagem em relação ao espaço (no caso de tomografia e ressonância (Pianyk, 2007)).

2.4.2 Tomografia Computadorizada - Médica

A radiodensidade dos tecidos, isto é, a média de absorção de raios-X pelos tecidos é a forma como uma tomografia computadorizada reproduz as imagens solicitadas pelos

profissionais por meio de um tomógrafo como mostra a Figura 9.

A radiodensidade é traduzida para a imagem em níveis de cinza em uma escala chamada Hounsfield, nome dado em homenagem a Godfrey Newbold Hounsfield, um dos criadores da primeira máquina de tomografia computadorizada (AMORIM et al,2012).

FIGURA 9: Tomógrafo médico



Fonte: www.toshibamedical.com.br (2013)

A tabela 1 apresenta alguns materiais e seus respectivos valores em HU (Hounsfield Unit).

TABELA 1 - Escala de Hounsfield	
Material	HU
AR	-1000 ou menos
Gordura	-120
Água	0
Músculo	40
Contraste	130
Osso	400 ou mais

Fonte: Amorim et al (2012)

Nos aparelhos mais modernos, com um emissor de radiação e um banco de sensores - também chamados de canais, variando de 2 até 256, que circundam o paciente enquanto a maca é movimentada, formando uma espiral. Por meio desse processo é possível gerar uma grande quantidade de imagens, simultaneamente, com pouca emissão de raios-X.

As imagens de tomografia computadorizada são geradas em níveis de cinza, os quais são depois traduzidos na escala de Hounsfield (HU). Os tons mais claros representam tecidos

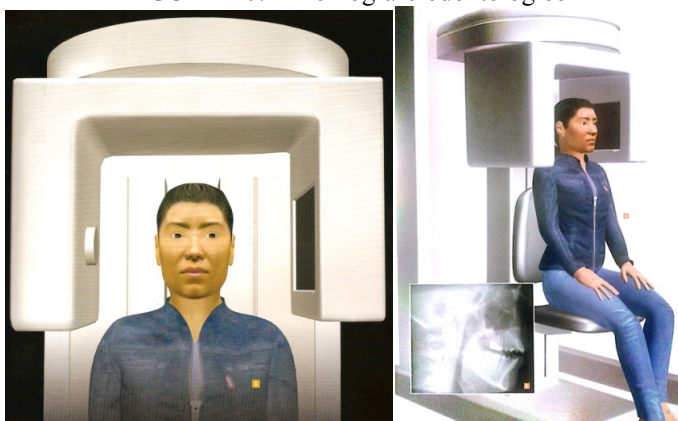
mais densos, e os mais escuros, tecidos menos densos, como a pele e o cérebro (AMORIM et al,2012).

2.4.3 Tomografia Computadorizada - Odontológica

A tomografia computadorizada odontológica trabalha com menos emissão de radiação se comparada à tomografia computadorizada médica e, em consequência, torna possível visualizar mais detalhes de regiões delicadas, como a cortical alveolar.

As imagens adquiridas por tomógrafos odontológicos, Figura 10, costumam exigir um maior pós-processamento quando é necessário separar (segmentar) determinadas estruturas usando outros softwares (AMORIM et al, 2012).

FIGURA 10: Tomógrafo odontológico



Fonte: Accorsi e Velasco (2011 p.32-33).

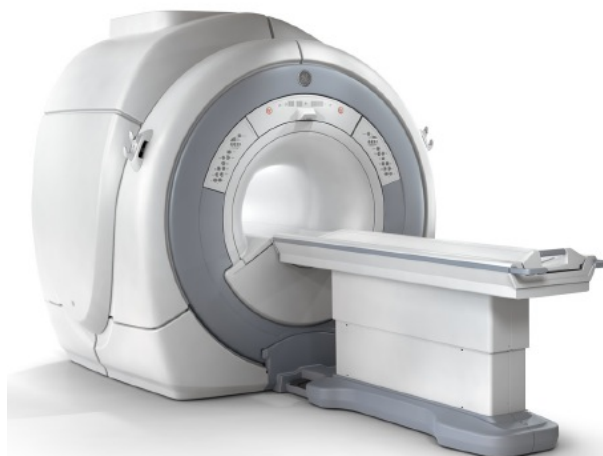
Isso ocorre, pois essas imagens possuem mais níveis de cinza que a escala de Hounsfield, o que torna o uso de padrões de segmentação menos eficiente. Os ruídos do tipo *speckle* e a presença de outros ruídos normalmente causados por uso de próteses de amálgama pelo paciente são características bastante comuns nas imagens providas de tomógrafos odontológicos.

O paciente fica na posição vertical (ao contrário da tomografia médica, em que o paciente fica na horizontal). Um emissor e um sensor de raios-X circundam o crânio do paciente, formando um arco de 180° ou 360°. As imagens do tomógrafo podem ser interpretadas como um volume com o crânio do paciente imerso. Esse volume é "fatiado" pelo software do aparelho, podendo-se gerar imagens com espaçamentos diferentes ou outros tipos de imagens, como a visão panorâmica da região de interesse (ACCORSI e VELASCO, 2011).

2.4.4 Ressonância Magnética

A ressonância magnética utiliza um forte campo magnético para alinhar os átomos de algum elemento presente no corpo, comumente o hidrogênio sendo assim um exame realizado sem o uso de radiação ionizante, Figura 11.

FIGURA 11: Equipamento de ressonância magnética



Fonte: General Electric Company -Ge Healthcare Worldwide, (2013)

Após o alinhamento, são disparadas ondas de rádio, e os átomos são excitados. Os sensores medem o tempo que os átomos de hidrogênio demoram em se alinhar novamente. Com isso, é possível determinar qual é o tipo de tecido, pois tecidos diferentes apresentam quantidades diferentes de átomos de hidrogênio (AMORIM et al, 2012).

FIGURA 12: Bobina – Ressonância Magnética



fonte: www.healthcare.philips.com (2013)

Para evitar interferências e melhorar a qualidade do sinal de radiofrequência, além de o paciente ficar dentro do equipamento, é colocada uma bobina na região de interesse, Figura12.

2.5 Morfometria tridimensional (3D) da face

A antropometria facial tem fornecido diagnóstico para diversas áreas que trabalham com as estruturas da face, e estão interessados em tecnologias que auxiliem no diagnóstico correto e na preparação do plano de tratamento de pacientes que serão submetidos a tratamentos ortodônticos, cirurgias ortognáticas, cirurgias plásticas da face, diagnóstico de malformações congênitas ou adquiridas, e pesquisas morfométricas.

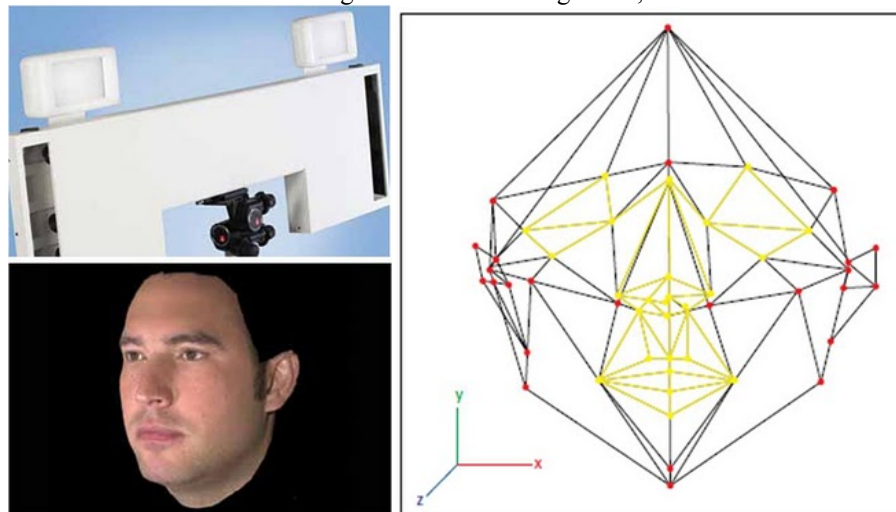
Os dois grupos principais de instrumentos utilizados na antropometria facial em 3D são:

Instrumentos de contato: digitalizadores eletromagnéticos e eletromecânicos, sondas ultrassônicas e instrumentos ópticos;

Instrumentos sem contato: laser scanner, instrumentos óptico-eletrônicos, topografia Moiré, estereofotogrametria, eliminando o risco de compressão cutânea, evitando danos ou erros na mensuração.

Um método de análise morfométrica quantitativa ideal para a avaliação de pacientes deve ser não invasivo e não nocivos como os exemplificados na Figura 13 (BROWN, SCARFE e at al., 2009)

FIGURA 13: Digitalizador eletromagnético, face obtida.



Fonte: Brown, Scarfe e at al., (2009).

Além disso, não deve provocar dor ou desconforto aos pacientes; de baixo custo; rápida captação de imagens - obter informações por técnicas simples e que capte e armazene os dados digitais 3D da morfologia facial; possibilitar a criação de um banco de dados e a

visualização, simulação e análise quantitativa do tratamento (BROWN, SCARFE e at al., 2009).

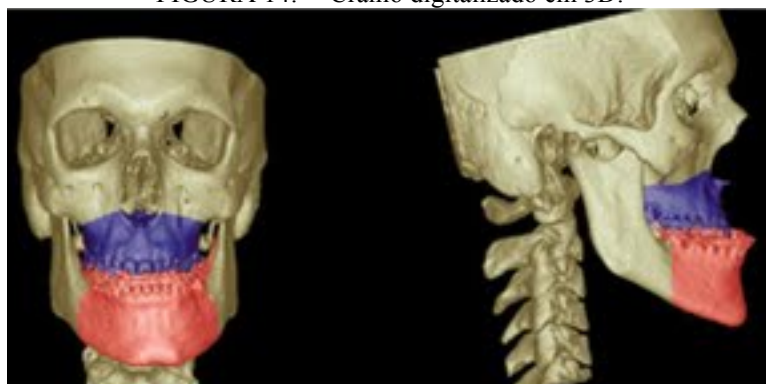
2.6 Fabricação de *Splints* para Cirurgia Ortognática Utilizando Impressora 3D

Após a aquisição 3D de dados de pacientes com deformações ortognáticas, é possível realizar o reposicionamento virtual das bases ósseas maxilares.

Para reduzir falhas, os modelos de gesso foram digitalizados, utilizando um scanner de superfície. Após importar e combinar os dados para o planejamento pré-operatório do caso, é permitido a transformação do reposicionamento planejado e da oclusão ideal. O sistema define um *Splint* virtual entre as fileiras de dentes, de forma a permitir codificar o reposicionamento visado. Após a realização da cirurgia, a impressão dentária é subtraída do *splint* virtual. O "*splint*" definitivo é, em seguida, confeccionado por uma impressora 3D (CAVALCANTE, 2010) (METZGER et al, 2008).

Combinando as vantagens dos modelos de gesso convencional, planejamento virtual 3D preciso, pode-se transformar a informação adquirida em um *Splint* dental ideal, conforme Figura 14 que exemplifica a segmentação em duas partes: superior e inferior destaque da mandíbula e maxila, de forma a movimentar e simular o resultado cirúrgico ósseo.

FIGURA 14: Crânio digitalizado em 3D.



Fonte: Metzger et al (2008)

Considerando as técnicas apresentadas até aqui, e levando em consideração a pesquisa em desenvolvimento, ainda existe uma lacuna a ser preenchida que busca facilitar a manipulação e o corte das estruturas ósseas.

O apelo visual da simulação computadorizada sana as deficiências do profissional ao apresentar o caso ao paciente, que na falta de tal técnica é na maioria das vezes realizada com

o auxílio de traçados cefalométricos – modelo de estudo e fotografias de outros pacientes tratados, tornando assim a compreensão muitas vezes difícil para um paciente leigo. Soma-se a isso a possibilidade de se realizar planejamentos cirúrgicos com maior facilidade e precisão, o que tornou este método mais utilizado e estudado nos últimos dez anos (MOTTA, BRUNHARO, et al., 2007).

No capítulo a seguir, são estudados trabalhos correlatos, onde estudos e softwares são explorados, e por fim comparados com o sistema proposto pelo autor.

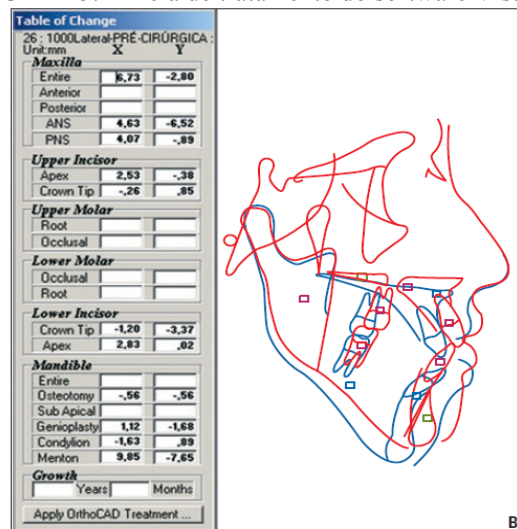
CAPÍTULO 3

3. TRABALHOS RELACIONADOS

O desenvolvimento de sistemas 2D para análise cefalométrica têm o objetivo de reduzir o erro humano e o tempo na extração de medidas ortodônticas do paciente.

As pesquisas têm-se concentrado na geração de aplicativos 2D e 3D para tratamento ortodôntico e em sistemas de simulação de movimentos mandibulares, obtendo-se os dados por meio de medidas cefalométricas, conforme explanado no capítulo 2. A maior parte das pesquisas está voltada para o tratamento ortodôntico e não contempla a cirurgia ortognática. Salienta-se que para o sucesso da cirurgia ortognática é necessário um preparo ortodôntico pré e pós-cirúrgico (METZGER ET AL, 2008).

FIGURA 15: Tela de tratamento do software Vistadent



Fonte: Menezes, M.; Sforza;C. (2010).

Existem dois métodos utilizando computador, o primeiro proporciona o traçado cefalométrico permitindo observar os movimentos cirúrgicos, onde as ferramentas computacionais para o auxílio de profissionais das áreas médicas são sistemas de auxílio ao diagnóstico (Computer Aided Diagnosis – CAD) - Figura 15 que faz a movimentação das estruturas esqueléticas do traçado pré-cirúrgico (azul) construindo o traçado predictivo (vermelho) - a tabela mostra a magnitude das mudanças esqueléticas. Estas aplicações têm aberto novas oportunidades para profissionais de Computação e oferecido opções variadas para pesquisas na academia, tendo a maior parte das pesquisas feitas em 2D e pouquíssimas

em 3D. No segundo método, une-se o traçado cefalométrico às imagens fotográficas de perfil, que sofreram alterações de acordo com a movimentação óssea. Este último chamado de Vídeo Imaging.

Isto resulta em uma melhor visualização e no entendimento dos objetivos do tratamento pelo paciente.

O conceito de paciente virtual tem sido cada vez mais explorado pela comunidade, onde informações e imagens do paciente provenientes de diversas fontes como raio X, cefalometria, ressonância e tomografia são consolidadas. O paciente virtual então pode ser estudado e novos protocolos de tratamento desenvolvidos, o que torna esse conceito especialmente importante na cirurgia ortognática devido a sua complexidade (SCHENDEL e LANE - 2009).

Esse capítulo busca trazer um panorama de alguns softwares de processamento de imagens médicas na área da ortodontia e implantodologia, bem como as técnicas clássicas de processamento aplicadas a essas imagens, nesse último caso, os sistemas CAD, que têm as imagens como principal fonte de dados tanto no meio acadêmico como no comercial, os quais dentre as diversas funcionalidades, também atuam no espaço da visualização do tratamento ortodôntico. São apresentados a seguir mais sobre esses softwares usados pela comunidade, além de um estudo comparativo entre os mesmos (NUNES, 2006).

3.1 CMFApp

O trabalho que está sendo desenvolvido pelo Maurice Muller Institute of Surgical Technology and Biomechanics, Universidade de Bern, na Suíça, e com investimentos da rede Computer aided and image guided medical interventions (CO-ME).

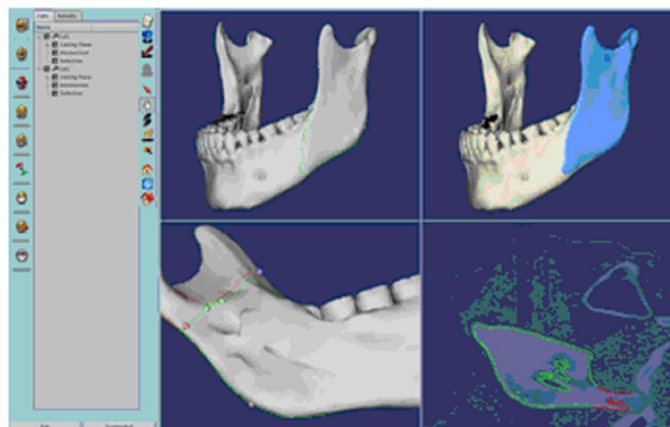
Apesar de estar voltado especificamente em simulação do processo cirúrgico, o CMFApp apresenta um rico conjunto de funcionalidades, de forma que todos os dados médicos são manipulados: dados anatômicos, diagnósticos, planejamento e guia cirúrgico, em um arquivo estruturado no formato XML. Essa estratégia permite com que o CMFApp possa compartilhar essas informações com outros softwares das áreas médicas.

Foi desenvolvido pensando no modelo de componentes, dessa forma possui um framework que permite estender a aplicação e trocar dados mais facilmente entre esses componentes internos.

O software desenvolvido por esse instituto, é usado para auxílio de cirurgias buco maxilo facial, e como descrito por Cevidanes et al, é um dos elementos de apoio ao

especialista quando visualizado dentro de um processo pré e pós cirúrgico (CEVIDANES et al, 2010).

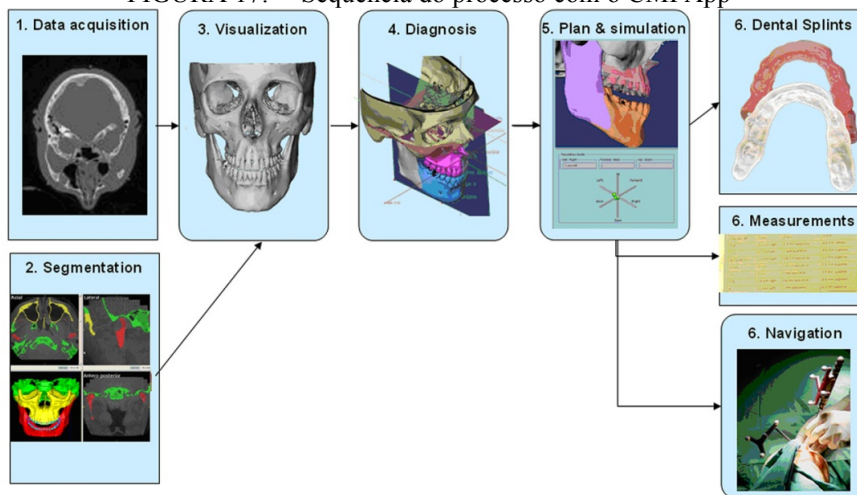
FIGURA 16: Software CMFApp – no estudo de osteotomia



Fonte: Cevidanés, Lucia H. C. et al. (2010)

Na Figura 16, é apresentado o processo por completo, e assim como o sistema proposto nesse documento, o CMFApp se encaixa nos procedimentos de análise e simulação.

FIGURA 17: Sequencia do processo com o CMFApp



Fonte: Cevidanés, Lucia H. C. ; et al. (2010)

A exemplo do sistema proposto pelo autor nessa dissertação, e conforme o processo apresentado para análise do procedimento cirúrgico na Figura 17, a segmentação da imagens se faz necessária antes da simulação.

De acordo com Cevidanés et al, a ferramenta utilizada para realizar a segmentação, poderá trazer variações no resultado final, levando em consideração a forma e o algoritmo

O software suporta qualquer tipo de osteotomia - corte ósseo, com uma detecção e separação confiável das partes ou segmentos envolvidos. Um plano de corte é definido por meio de 3 ou mais marcações. A intersecção entre distintos planos de corte é calculada e a superfície das estruturas internas é separada em visões distintas (CEVIDANES et al, 2010).

A localização do corte pode ser definida na linha de intersecção através de seleção de ponto ou marcando as seções de linhas conectadas. O rastreamento de medidas está presente no trabalho do Instituto Maurice, oferecendo ainda a capacidade de atualizar as medidas cefalométricas imediatamente após a alteração de um marcador.

Atualmente o CMFApp não possui a capacidade de simular alterações no tecido mole (pele). Por fim, o CMFApp cria um plano operatório, onde apresenta em detalhes os passos que poderão auxiliar o especialista durante o procedimento cirúrgico, como apoio, também oferece integração com dispositivos de rastreamento.

O CMFApp apresenta algumas similaridades com o protótipo apresentado nessa dissertação no tocante a origem em pesquisa acadêmica, bem como a preocupação em construir blocos de software modulares para futuras extensões e integrações. A limitação por não trabalhar com tecido mole, o separa dos demais que contemplam essa funcionalidade.

3.2 Dolphin

Empresa californiana, fundada em 1988 oferece soluções de software de diversos tipos para dentistas, cirurgiões e educadores nas áreas de imagem, diagnósticos e soluções de gerenciamento de pacientes e especialistas.

O Dolphin Imaging é um aplicativo comercial, com distribuição significativa no Brasil, o qual possui o VTO em 3D. O mesmo é vendido em módulos, onde um treinamento para cada módulo é necessário conforme sítio da Dolphin Imaging Featuring 3D, 2011.

A suíte de produtos Dolphin inclui uma gama de produtos, entre eles o Dolphin Imaging, Dolphin 3D, Dolphin Aquarium e Dolphin Management. Este software vem sendo utilizado para pesquisa e ensino em vários centros de estudos. Entre suas funções, permite importar dados 3D, realizar análises tridimensionais das vias aéreas, análise das ATMs, geração de teleradiografias cefalométricas e panorâmicas, e ainda possibilita medidas 2D e 3D angulares de distâncias e de áreas, conforme divulgação no site da Dolphin Imaging Featuring 3D.

De acordo com engenheiro programador do Dolphin, Dr. Paul Goodman, as soluções da Dolphin Imaging são marcantes na área acadêmica, como refletido abaixo segundo dados dos EUA:

97% dos cursos de odontologia usam o Dolphin regularmente.

50% dos programas de cirurgia buco maxilo facial usam o Dolphin regularmente.

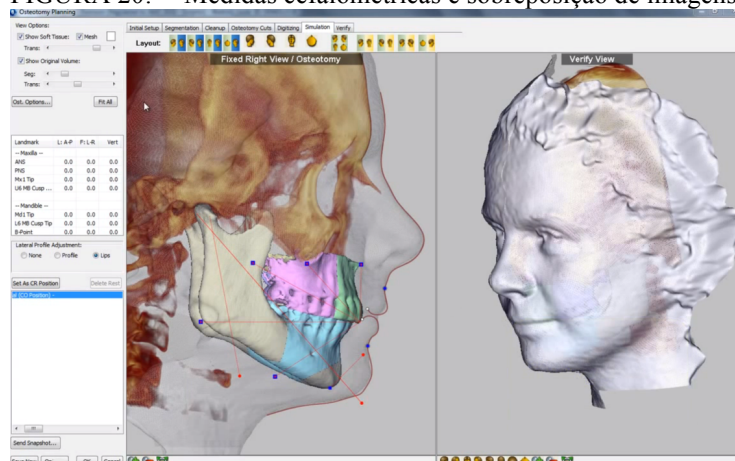
25% dos programas pediátricos usam o Dolphin regularmente.

(JACOME, 2013 apud GOODMAN,2013)

3.3 Dolphin3D

O módulo 3D do Dolphin Imaging permite um amplo diagnóstico em todas as especialidades da Odontologia. Possui uma boa visualização da anatomia crânio facial, capturadas por Tomografia Computadorizada, Ressonância Magnética e sistemas que utilizem como forma de captura da imagem o formato DICOM, além da obtenção das imagens por das câmeras digitais médicas 3D conforme Figura 20.

FIGURA 20: Medidas cefalométricas e sobreposição de imagens.

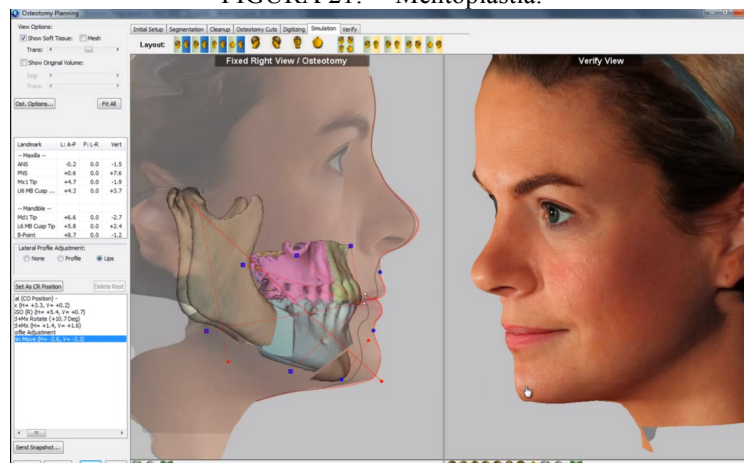


Fonte: Dolphin imaging (2011)

A parte de segmentação - osteotomia - do modulo Dolphin 3D se mostrou completa quanto a variações de movimentos e vinculação das partes ósseas segmentadas, de forma que quando uma parte é movimentada, outras partes formadoras do conjunto seriam movimentadas de forma transparente pelo software sem a necessidade de interferência do especialista, conforme divulgação no site da Dolphin Imaging Featuring 3D.

Como apresentado na Figura 21, a função de osteotomia é complementada pela simulação da segmentação e movimentação no tecido mole, utilizando para tanto a combinação dessa camada obtida por tomografia e a textura com a foto do rosto realizada pela câmera facial tridimensional.

FIGURA 21: Mentoplastia.



Fonte: Dolphin imaging – 3D (2011)

O Dolphin 3D, até a versão 11.5 não possuía opção de customizar *splint*, como também a falta de um plano detalhado a ser utilizado na sala de cirurgia - intra operatório.

O fato de possuir essa grande capacidade de recursos e o custo envolvido para aquisição e treinamento foram entendidos como obstáculos nas pesquisas realizadas nesse trabalho, conforme resultados apresentados no capítulo 6.

Os módulos do Dolphin se mostraram bastante completos, o que em algumas situações podem trazer uma sobrecarga de pré-requisitos para o especialistas. Outro ponto a considerar dada a gama de funcionalidades e módulos são os treinamentos para que o especialista possa ser produtivo no uso da ferramenta.

3.4 Maxilim

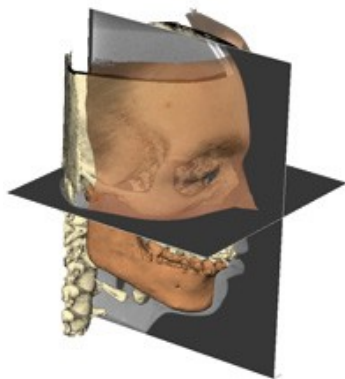
É uma plataforma de software da empresa Belga Medicim Medical Image Computing. Essa plataforma incorpora vários módulos que apoiam o especialista no planejamento pré-operatório de uma cirurgia ortognática.

A fonte de dados principal do Maxilim, não se diferencia dos demais, sendo a tomografia computadorizada, a qual é usada pelos distintos módulos da plataforma, entre eles

o 3D Patient, Diagnose e Orthognatic Surgery. O Modulo 3D Patient é o ponto de partida, nesse módulo o especialista faz o carregamento da imagem tomográfica e fotos 3D do paciente para compor o chamado paciente virtual.

Uma vez que o paciente virtual foi criado, o módulo Diagnose possui um rico visualizador 3D onde o especialista pode trabalhar com técnicas de espelhamento, definir marcações e visualizar os planos axial, sagital e coronal conforme Figura 22.

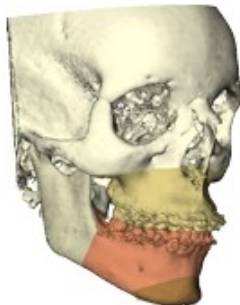
FIGURA 22: Planos Axial e coronal



Fonte: Medical Imaging Computing (2008)

As funcionalidades de medições e cefalometria, em conjunto com as marcações também se fazem presente no Maxilim, e são importantes no módulo Orthognatic Surgery para compreender e planejar a osteotomia, onde um exemplo é apresentado na Figura 23.

FIGURA 23: Osteotomia no Maxilim



Fonte: Medical Imaging Computing (2008)

A osteotomia realizada por meio de assistentes, sem que o profissional tenha liberdade nos movimentos das partes. O passo final após a osteotomia virtual no Maxilim é a criação do modelo do *splint* que poderá ser usado antes cirurgia para mais uma validação do procedimento.

Por ser poderoso, o Maxilim se mostrou simples e eficaz na super imposição, marcações e movimentos de imagens. O treinamento e suporte ao produto podem trazer algumas dificuldades para a empresa no mercado comercial ou acadêmico no país.

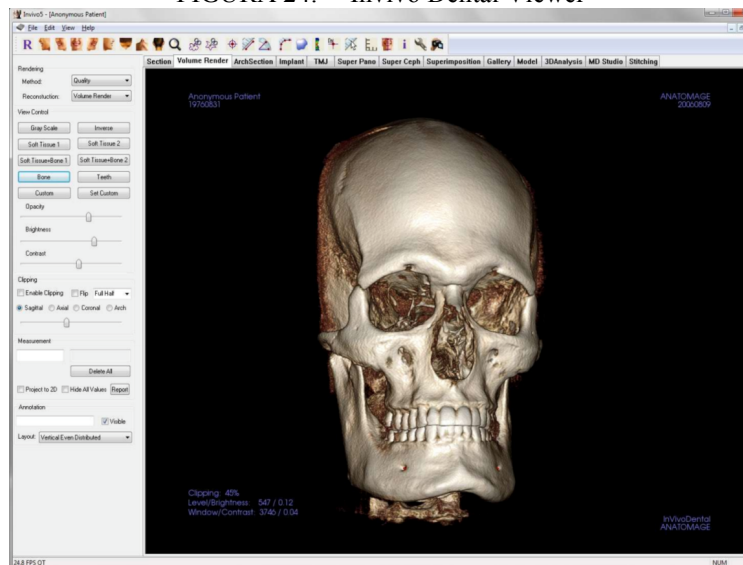
3.5 InvivoDental

A empresa californiana Anatomage, especializada em desenvolvimento de software e hardware para a área médica possui em seu portfólio de produtos o Invivo Dental.

O Invivo Dental é um software que busca ser bastante completo, uma vez que oferece funcionalidades interdisciplinares tais como simulações de cirurgia ortognática e planejamento para implantes.

A fonte de dados principal do Invivo Dental é a tomografia computadorizada (Figura 24), e que no seu módulo de visualização cria uma modelo poligonal, permitindo que o tempo de resposta nas operações realizadas pelo usuário tais como zoom e rotação aconteçam de forma satisfatoriamente rápidas (ANATOMAGE, 2011).

FIGURA 24: Invivo Dental Viewer



Fonte: Invivo5.1 Manual (2011)

O Invivo Dental possui ferramentas de análise de impacto principalmente voltadas para implantes dentários. Apesar de possuir a funcionalidade de planejamento cirúrgico, o maior enfoque foi dado para implantes e tratamento de disfunção Temporo-Mandibular, onde

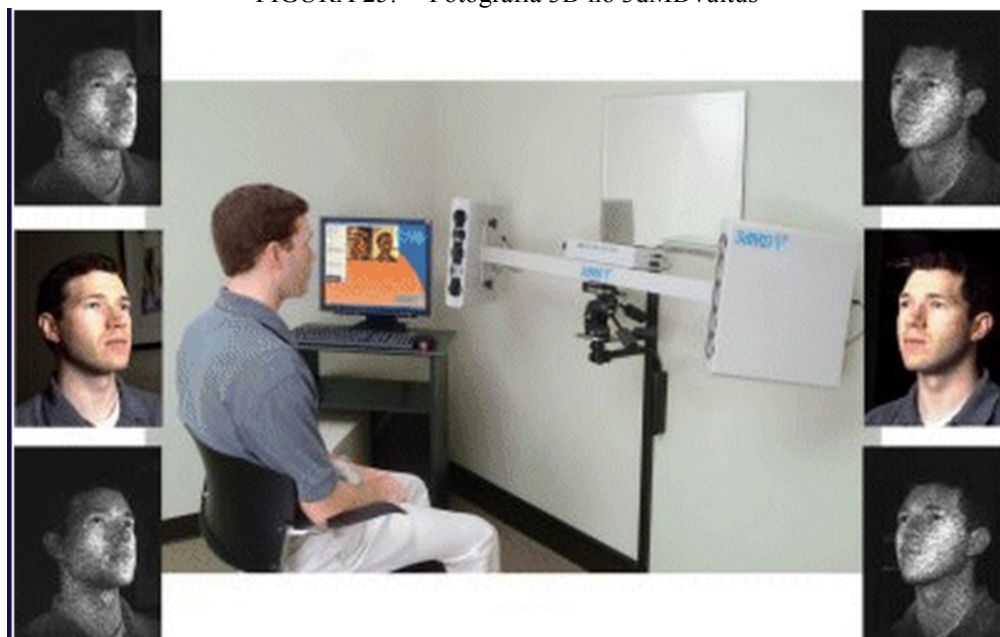
a movimentação óssea ocorre por meio de assistentes ou automaticamente, com pouca liberdade dada ao especialista.

O Invivo apresentou excelentes qualidade nas imagens produzidas e um rico conjunto de funcionalidades de integração e exportação de informações em formatos padrão como o DICOM, além de possuir integração nativa com o software VixWin Platinum, utilizado para tratamento de imagens em duas dimensões.

3.6 3dMDvultus

A plataforma de software da empresa americana 3dMD é focada em diagnóstico e visualização 3D do tratamento de um paciente. Explora-se a combinação de imagens de diferentes fontes, onde a principal é a imagem tomográfica. Na Figura 25, é possível ver um dispositivo de fotografia 3D utilizado para combinação e sobreposição de imagens no 3dMDvultus.

FIGURA 25: Fotografia 3D no 3dMDvultus



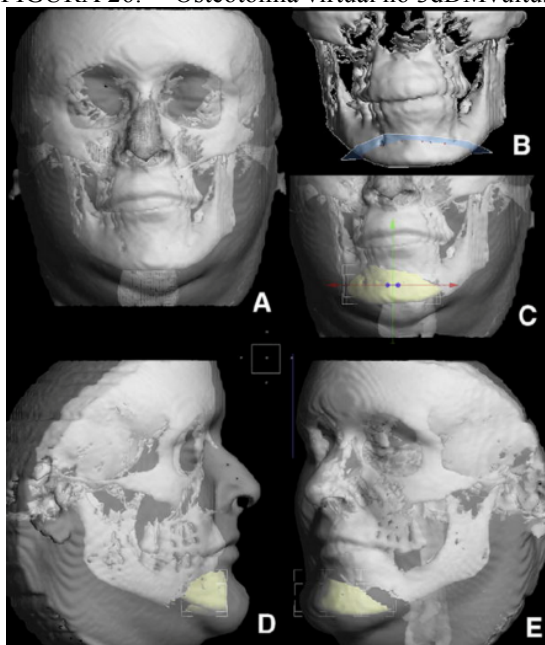
Fonte: Harrel (2008)

Com recursos de banco de dados, o 3dMDvultus é capaz de rastrear o tratamento do paciente por meio de históricos de exames feitos na linha do tempo. Nesse software a imagem tomográfica é carregada, e então as segmentações ósseas são criadas automaticamente, e

então o especialista pode realizar movimentos de rotação e translação nas partes segmentadas (GRAUER, CEVIDANES e PROFFIT,2009)

Nessa fase também é possível fazer marcações que serão úteis na sobreposição de imagens. Assim como o Dolphin, é possível também fazer a análise das vias áreas, bem como os resultados de uma possível segmentação óssea. Relacionado com o objeto principal de estudo desse trabalho, o 3dDMvultus permite a realização de um procedimento de osteotomia. Os movimentos guiados de rotação e translação são permitidos por meio do uso de marcadores.

FIGURA 26: Osteotomia virtual no 3dDMvultus



Fonte: Grauer, Cevidanés e Proffit,(2009)

Na Figura 26 também é possível visualizar a transposição das camadas digitais (tecido mole e osso) realizado por meio do controle da transparência de cada uma delas.

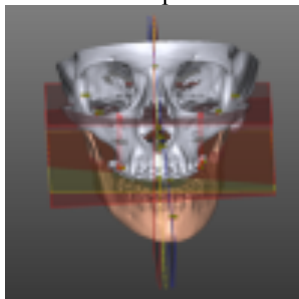
O 3dMDvultus mostrou-se versátil no suporte a diferentes fontes de imagens, entretanto sua interface gráfica pode tornar-se um pouco confusa dependendo da profundidade no conhecimento da ferramenta.

3.7 SimPlant O&O

Um software da empresa Materialise Dental, localizada na Bélgica, disponibiliza um

conjunto de softwares (Figura 27) para diversas disciplinas que variam de implantes dentários, construção de próteses e planejamento de uma cirurgia ortognática.

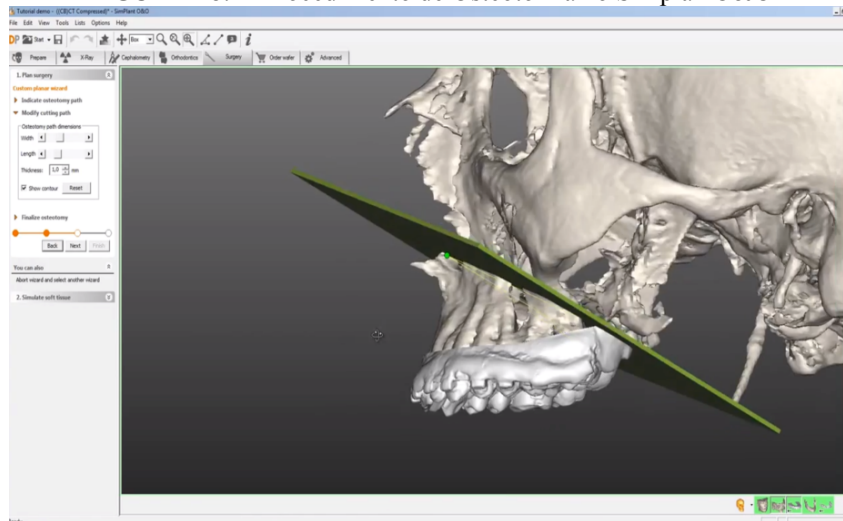
FIGURA 27: Cefalometria e planos de análise no SimPlant



Fonte: Materialise Dental (2012)

O módulo SimPlant O&O contém medições cefalométricas, visualização isolada dos dentes da mandíbula ou maxila e simulação de cirurgia.

FIGURA 28: Procedimento de Osteotomia no Simplan O&O



Fonte: Materialise Dental (2012)

Como nos outros software analisados aqui, a origem principal dos dados é por meio de uma tomografia computadorizada. A simulação de cirurgia consiste em procedimentos de osteotomia por meio de assistentes utilizados como guias para a movimentação do conjunto ósseo, entretanto também é oferecida a possibilidade de realizar movimentos ósseos livres para situações, Figura 28, onde o especialista quer assumir o controle total do movimento sem qualquer assistência..

Ao final de uma simulação o SimPlan permite também projetar um *splint* a ser usado para validação em um procedimento cirúrgico real (MATERIALISE DENTAL, 2012)

O Simplant O&O se apresentou nos estudos como um software com uma boa amplitude nos tipos de tratamentos em que pode auxiliar, e principalmente por aceitar movimentos livres nos ossos. A exemplo do Maxilim, pode-se encontrar dificuldades em obter treinamento e suporte local.

3.8 Comparações

Foi criada uma matriz comparativa entre os softwares analisados nesse capítulo e também o *InVesalius*TM, já visto e discutido brevemente em capítulos anteriores.

Dentro dos 6 tópicos analisados conforme Tabela 2, a exigência do um cadastro do paciente (funcionalidade do item 1) para alguns especialistas não é entendido como um fator positivo, pois para se chegar ao procedimento dentro de um ambiente em 3D, o software exige esse cadastro como um pré-requisito, desviando o especialista de seu objetivo e consumindo maior tempo. No capítulo 6, onde são analisados os resultados das experimentações pelo especialistas esse assunto é abordado com mais detalhes.

TABELA 2 - funcionalidades analisadas em softwares correlatos.

	1	2	3	4	5	6
CMFApp	✗	✓	✓	✓	✓	✗
Dolphin	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Maxilim	✓	✓	✓	✓	✗	✗
InvivoDental	✗	✓	✓	✓	✗	✗
3dmdvultus	✓	✓	✓	✓	✓	✗
SimPlant O&O	✓	✓	✓	✓	✓	✗
InVesalius	✗	✓	✓	✓	✗	✓

Fonte: acervo próprio

A análise foi feita seguindo os seguintes critérios:

1. Exigência de pré-cadastro de dados do paciente.
2. Entrada de dados de Tomógrafo formato DICOM
3. Medições cefalométricas
4. Geração de imagem 3D
5. Corte livres na imagem 3D
6. Oferecido gratuitamente

Os itens 2, 3 e 4 apresentados na Tabela 2 são fundamentais para análise e visualização dos estudos de caso, no entanto, a realização da osteotomia diretamente na imagem 3D apenas dois deles oferece, enquanto todos os demais permitem somente realizar os cortes por meio de demarcações do *canvas* nas imagens 2D. Quando permite-se o corte, em alguns casos não é permitido a movimentação livre das partes, de forma que na maioria dos casos a movimentação ocorre por meio de assistentes com limitações do movimento impostas pelo software, e é exatamente neste ponto que a dissertação foi desenvolvida com uma maior ênfase, no entanto é necessário agregar a informação de que juntamente com o item 6 – custo, onde o *InVesalius*TM, base desse desenvolvimento, é um software gratuito, onde já possui várias outras funcionalidades discutidas, e por simplificação não requer qualquer tipo de cadastro prévio do paciente para a implementação do corte diretamente na imagem 3D. Assumindo que o *InVesalius*TM tem potencial futuro para incorporar as funcionalidades desenvolvidas nesse trabalho, tal acréscimo será de grande valor para a comunidade de especialistas interessados.

Uma vez que este capítulo explorou trabalhos correlatos, na sequencia o autor descreve em detalhes a sua proposta, incluindo *screenshots* do sistema desenvolvido.

CAPÍTULO 4

4. ARQUITETURA DO SISTEMA

No capítulo anterior foram apresentados e analisados diversos estudos e softwares cujas funcionalidades variam em diferentes direções com maior ou menor abrangência no VTO (Visualização do Tratamento Ortognático), e consequentemente com diferentes resultados.

Esse capítulo traz o sistema proposto cuja principal característica é à simplicidade na sua utilização e busca por resultados, além de explicar sobre sua arquitetura.

4.1 Sistema Proposto

O sistema proposto, Protótipo VTO – UFU – Visualização do Tratamento Ortognático, descrito nesse capítulo busca facilitar o planejamento das osteotomias que ocorrem em uma cirurgia ortognática, oferecendo ao médico cirurgião uma ferramenta para visualizar, movimentar e modificar imagens tomográficas adquiridas por meio de um exame realizado no paciente.

Desde sua concepção o sistema foi pensado para inicialmente trabalhar apenas com a parte óssea de um planejamento cirúrgico. O sistema oferece ao médico um ambiente total 3D, onde é possível trabalhar com diversas ferramentas e modos de visualização de imagem.

Propositamente com interface reduzida e minimalista, o Protótipo VTO – UFU – Visualização do Tratamento Ortognático oferece ainda uma poderosa ferramenta de corte de imagem, simulando um procedimento de osteotomia e reposicionamento ósseo mandibular ou da maxila. É possível ainda movimentar, rotacionar, ampliar ou reduzir a cena por meio da manipulação da câmera, bem como de partes ósseas existentes na cena de forma independente, aqui tratadas como objetos, ou atores conforme detalhamento na solução no próximo capítulo.

Esse conjunto de funcionalidades no sistema busca trazer um grande nível de simplicidade na preparação e simulação de uma cirurgia, permitindo que o especialista esteja totalmente focado no resultado final em si, ao invés de todas as sobrecargas oferecidas e muitas vezes obrigatórias impostas por outros sistemas. Os dois grandes diferenciais do sistema proposto baseiam-se na simplicidade e na experiência trazida pelo usuário, nesse caso o cirurgião.

4.2 Arquitetura

Como base em alguns requisitos funcionais, esta seção aborda a arquitetura do Protótipo VTO – UFU – Visualização do Tratamento Ortognático. Fator relevante para esta seção, é ter conhecimento que aplica-se a esse estudo a ideia de modularização dos seus componentes.

Importante ainda lembrar que no próximo capítulo, serão discutidos detalhes de implementação e código fonte.

4.2.1 Requisitos Funcionais

A proposta dessa pesquisa tem que obrigatoriamente levar em consideração os seguintes requisitos funcionais levantados durante a fase de prospecção e análise desse sistema, antes mesmo de se aprofundar no desenvolvimento e estudo.

Os seguintes requisitos funcionais foram identificados:

- 1-O sistema deve permitir importar imagens no formato DICOM
- 2-O especialista deve ser capaz de avaliar e remover ruídos existentes na imagem
- 3-O especialista poderá carregar uma ou mais imagens no sistema
- 4-O especialista deverá ter a sua disposição uma ferramenta para realizar cortes nos ossos representados pelas imagens carregadas
- 5-O especialista poderá mover as partes ósseas de forma independente em qualquer eixo tridimensional
- 6-O especialista poderá salvar as imagens modificadas
- 7-O especialista e o paciente poderão avaliar o resultado do procedimento virtual

Percebe-se que por meio desses requisitos que os principais interessados e participantes do sistema são o médico especialista e o paciente.

4.2.2 Diagrama de Sequencia

Antes de explorar os casos de uso para atender os requisitos funcionais listados acima,